

РАКЕТНО-ЯДЕРНОЕ ОРУЖИЕ И ЕГО ПОРАЖАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА

А. ИВАНОВ, И. НАУМЕНКО, М. ПАВЛОВ

РАКЕТНО-ЯДЕРНОЕ ОРУЖИЕ И ЕГО ПОРАЖАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ

Ордена Трудового Красного Знамени
ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР
МОСКВА — 1971

А. И. Иванов, И. А. Науменко, М. П. Павлов

И20 **Ракетно-ядерное оружие и его поражающее действие.** М., Воениздат, 1971, «Научно-популярная библиотека».

224 с.

Авторы популярно разъясняют физические основы и устройство ракетно-ядерного оружия и его поражающие факторы В книге приведены данные об устройстве атомных и термоядерных боеприпасов и ракет-носителей, о способах расчета зон поражения и мерах защиты от ракетно-ядерного нападения. Читатель познакомится с планами использования империалистами космических средств борьбы, узнает о поражающем действии космического ядерного взрыва. Книга написана по материалам, опубликованным в открытой советской и иностранной печати, и рассчитана на военных и гражданских читателей, агитаторов, пропагандистов, лекторов, преподавателей, интересующихся ракетно-ядерным оружием.

1-12-3
19—71

355.11

ВВЕДЕНИЕ

В ракетно-ядерной войне, если она будет развязана империалистами, главным средством поражения будут ядерные боеприпасы, а основным средством доставки их к цели — ракеты.

В настоящее время в литературе широко распространены такие названия, как ядерное, термоядерное, водородное оружие, ядерные боеприпасы и т. д. Когда говорят «ядерное оружие», то имеют в виду оружие, основанное на использовании энергии, выделяемой при превращениях атомных ядер в результате ядерных реакций — деления, соединения или того и другого одновременно. Это название самое общее и распространенное. Термоядерное оружие основано на ядерных реакциях соединения (синтеза) легких атомных ядер при очень высоких температурах, водородное оружие — на термоядерной реакции, в которой участвуют тяжелый водород — дейтерий и сверхтяжелый водород — тритий.

К ядерным боеприпасам относят головные (боевые) части ракет различных типов, авиационные бомбы, артиллерийские снаряды, торпеды, глубинные бомбы и инженерные мины, снаряженные ядерными зарядами.

Соединение ядерных боеприпасов с ракетами ознаменовало появление нового вида оружия — ракетно-ядерного. Оружие, в котором сочетается ядерный заряд и ракета, называется ракетно-ядерным.

Первые образцы ядерных боеприпасов имели значительный вес и большие габариты. Доставлять их к цели могли только мощные самолеты. Однако самолеты без дозаправки их горючим в воздухе или на промежуточ-

ных базах не могли в то время доставить ядерные боеприпасы для удара по объектам, находящимся на большом удалении. Кроме того, авиация, будучи уязвимой от современных средств противовоздушной обороны, не гарантировала доставку ядерных боеприпасов до цели.

Нужно было принципиально новое средство доставки ядерных боеприпасов до цели. Таким средством стали ракеты. Большая скорость и высота полета обеспечивали практическую неуязвимость ракеты в полете. Ракеты имеют также малую уязвимость на стартовых позициях. Пусковые установки стратегических ракет находятся в подземных шахтах, обладающих значительной прочностью. Дальность действия стратегических ракет, и особенно глобальных ракет, позволяет поражать цели в любой точке земного шара. Эти преимущества ракет, а также небольшое время полета к цели, постоянная боевая готовность к действию и высокая техническая надежность выдвинули их на первое место среди других средств доставки.

Испытание первой отечественной послевоенной ракеты было проведено в 1947 г. Оно показало большие возможности и широкие перспективы применения ракет в вооруженной борьбе.

Огромная скорость и большая высота полета обеспечивали практическую неуязвимость ракет на траектории полета. Ракета, таким образом, явилась наиболее совершенным и выгодным средством доставки ядерных боеприпасов.

Основные усилия советских ученых, инженеров и конструкторов в области ракетостроения были направлены на решение проблем, связанных прежде всего с увеличением дальности полета ракет и точностью попадания их в цель.

Мощная промышленность и научно-техническая база в СССР явились теми предпосылками, которые позволили в очень короткие сроки достичь выдающихся успехов в создании и промышленном освоении новых образцов ракет. К середине 50-х годов в нашей стране были разработаны и приняты на вооружение ракеты различных классов и типов с высокими тактико-техническими характеристиками.

В августе 1957 г. в Советском Союзе была испытана первая в мире межконтинентальная многоступенчатая баллистическая ракета, с помощью которой в октябре 1957 г. впервые в мире был выведен на орбиту искусственный спутник Земли.

В последующие годы нашими конструкторами были созданы еще более совершенные образцы межконтинентальных баллистических ракет.

Выдающиеся достижения советской науки и техники, успехи социалистической промышленности, плодотворная работа ученых, конструкторов и рабочих позволили Советскому Союзу занять ведущее место в развитии ракетной техники.

Успешно проводились также работы по созданию и совершенствованию ядерных боеприпасов. В 1949 г. в нашей стране была испытана первая ядерная бомба, а уже в 1953 г., опередив американцев, советские ученые испытали термоядерную бомбу. Усилиями ученых, конструкторов, инженеров и рабочих, а также военных специалистов в короткий срок были созданы различные по мощности образцы ядерных боеприпасов, в том числе и самые мощные в мире термоядерные боеприпасы.

Обычно мощность ядерного оружия оценивают по энергии, освобождающейся при взрыве. Эту энергию измеряют тротиловым эквивалентом, то есть весом такого заряда тротила, энергия взрыва которого дала бы столько же энергии, сколько ее выделяет соответствующий ядерный заряд.

При взрыве ядерного оружия выделяется колоссальная энергия разрушения. Это можно показать на конкретных примерах. При взрыве лишь одного мощного термоядерного боеприпаса выделится больше энергии, чем от всех взрывов, произведенных всеми странами за все войны, которые знала история человечества. Если за период 1940—1945 гг. англо-американская авиация, совершив огромное количество самолето-вылетов, сбросила на объекты Германии и оккупированные ею страны около двух миллионов тонн фугасных бомб, то в настоящее время одна стратегическая ракета может доставить к цели заряд в десятки раз более мощный. Американскими специалистами подсчитано, что около 100 ядерных зарядов мощностью 2 млн. т, взорванных

над промышленным государством с территорией 300—500 тыс. км ^{2}, превратило бы все его административно-промышленные центры в груду развалин, а территорию — в вымершую пустыню от заражения ее радиоактивными веществами.

По расчетам американских специалистов, после 24-часовой ядерной войны потери населения США составят 50—75 миллионов человек. Подобные примеры можно было бы продолжить. Но и из них видно, к каким последствиям для человечества привела бы война с применением этих средств разрушения и уничтожения. Если она разразится по вине империалистов, то жертвы измерялись бы многими десятками и даже сотнями миллионов человеческих жизней. Это была бы война, которая не знала бы различия между фронтом и тылом, между солдатами и детьми. Она превратила бы в руины многие крупные города, промышленные центры, привела бы к безвозвратной гибели величайшие памятники культуры, которые создавались вековыми усилиями человеческого гения. Эта война не пощадила бы и будущих поколений. Ее ядовитый след в виде радиоактивного заражения еще долго калечил бы людей, уносил бы многие жизни.

В связи с этим ядерное оружие относится к оружию массового поражения. Советский Союз самым решительным образом выступает за запрещение ядерного оружия, неустанно ведет борьбу за предотвращение мировой ядерной войны и использование ядерной энергии в мирных целях. Советский Союз постоянно предлагает сократить военные расходы, запретить применение ядерного оружия и уничтожить все его запасы. Однако значительных результатов в этом направлении достигнуть не удалось. США и Англия вынуждены были в 1963 г. пойти на частичное запрещение испытаний ядерного оружия. Большое значение имеет также заключение в 1968 г. договора о нераспространении ядерного оружия. В этом в первую очередь большая заслуга принадлежит Советскому Союзу и другим социалистическим странам, твердо и последовательно выступившим в пользу действенных мер по предотвращению распространения ядерного оружия.

Советский Союз настойчиво добивается осуществления выдвинутых им предложений о запрещении ядерно-

го оружия и использования ядерной энергии в мирных целях. Но империалистические государства упорно отказываются принять эти предложения, интенсивно наращивают запасы своего ракетно-ядерного оружия. Это обязывает Вооруженные Силы СССР проявлять неослабную бдительность в отношении агрессивных происков врагов мира, быть всегда на страже мирного труда, в постоянной готовности к вооруженной защите своей Родины.

Внедрение ракетно-ядерного оружия во все виды Вооруженных Сил СССР диктовалось жизненной необходимостью укрепления обороноспособности социалистического Отечества и всего социалистического содружества в связи с постоянной военной угрозой со стороны империалистических агрессоров. Коммунистическая партия и Советское правительство постоянно заботятся о том, чтобы армия и флот располагали всем необходимым для надежной защиты государственных интересов нашей Родины.

В начале 1954 г. личный состав Советской Армии и Военно-Морского Флота приступил к изучению ядерного оружия и способов боевых действий в условиях его применения. К этому времени Вооруженные Силы уже располагали ядерным оружием различной мощности, в том числе водородными боеприпасами, а также экспериментальными данными о разрушительной и поражающей силе нового оружия. Одновременно с изучением и освоением ядерного оружия, подготовкой подразделений, частей и соединений всех видов Вооруженных Сил к действиям в условиях его применения накапливались и совершенствовались ядерные боеприпасы, быстро развивалась ракетная техника, в войска поступали новые образцы боевой техники.

Развитие и совершенствование ракетных войск определяется их ролью в современной войне. Практически неограниченная дальность полета стратегических ракет и возможность широкого маневра траекториями позволяют поражать объекты в любой точке земного шара с пусковых установок, расположенных на территории Советского Союза. Применение ракет не зависит от метеорологических условий, времени года и суток. Это обстоятельство в сочетании с быстротой подготовки

ракет к пуску обеспечивает постоянную готовность ракетных войск к боевым действиям.

ЦК КПСС и Советское правительство, наш народ заботятся об укреплении обороноспособности нашей Родины, оснащают свои вооруженные силы самой совершенной боевой техникой и новейшим ракетно-ядерным оружием.

Стратегическое ракетно-ядерное оружие — одно из главных средств достижения победы в войне, если ее развяжут агрессивные силы империализма. ЦК КПСС и Советское правительство приняли решение о создании нового вида вооруженных сил — Ракетных войск стратегического назначения. Создание Ракетных войск стратегического назначения явилось принципиально новым шагом в строительстве вооруженных сил, обеспечивающим повышение оборонной мощи Советского государства и всех стран социалистического содружества. Огромные боевые возможности ракетных войск определяют их ведущую роль в современной войне. За короткий срок существования ракетные войска выросли в грозную силу, способную нанести сокрушительный удар по агрессору. Они оснащены мощными стратегическими ракетами межконтинентальной и средней дальности, а также средствами управления.

Ракетно-ядерное оружие внесло подлинную революцию в военное дело. Оно не только качественно и организационно изменило структуру вооруженных сил, но и привело к изменению форм и методов вооруженной борьбы в целом.

Ракетно-ядерным оружием широко оснащаются и вооруженные силы агрессоров. Основной ракетно-ядерной державой капиталистического мира являются США. Некоторые запасы ракетно-ядерного оружия имеют Англия и Франция. Не исключено, что оно со временем может появиться и в других капиталистических странах. К нему настойчиво рвутся реваншисты Западной Германии. Это обязывает советских воинов изучать действие ракетно-ядерного оружия, знать способы защиты от него, быть всегда бдительными, в постоянной боевой готовности к надежному отражению внезапного нападения врага и к срыву его преступных замыслов.

О том, как устроены ракеты — носители ядерных зарядов, мы расскажем читателю в следующей главе.

I. РАКЕТЫ — НОСИТЕЛИ ЯДЕРНЫХ ЗАРЯДОВ

Современная управляемая ракета боевого назначения — это летательный аппарат с реактивным двигателем. Ракета несет заряд взрывчатого вещества (обычного или ядерного) и оборудована специальной аппаратурой. Она позволяет управлять полетом ракеты для попадания в цель заряда с высокой степенью точности.

Современная управляемая ракета — очень сложный беспилотный летательный аппарат. Он состоит из большого числа различных блоков, приборов и агрегатов. Ракета воплощает в себе самые новейшие достижения науки и техники. Это предъявляет высокие требования к знаниям обслуживающего персонала и требует тщательной подготовки к пуску. От того, как будет произведена подготовка и пуск ракеты, зависит эффективность поражения цели.

Для подготовки ракеты к старту и ее пуска создается специальное наземное (корабельное, самолетное) оборудование, иной раз не менее сложное, чем сама ракета.

В связи с этим современные управляемые ракеты сведены в так называемые ракетные комплексы, которые помимо ракет включают наземное (корабельное, самолетное) оборудование, состоящее из пусковых устройств, систем ввода программы полета в бортовую аппаратуру ракеты и различное вспомогательное оборудование, обеспечивающее подготовку и пуск ракет. В США стоимость наземного оборудования некоторых образцов межконтинентальных баллистических ракет достигает 70% стоимости всего ракетного комплекса.

Наиболее важный элемент ракетных комплексов — ракеты.

Рассмотрим несколько подробнее их классификацию.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ РАКЕТ. За последние годы создано большое количество ракет различного вида и

назначения. В научной литературе произведена их классификация по следующим основным признакам: по месту расположения пусковых установок ракет и местоположению целей; по конструктивным особенностям корпуса ракет, типа двигателей и характеру полета; по принципу управления ракетой в полете; по боевому предназначению и т. д.

Самое широкое распространение за рубежом получила классификация ракет в зависимости от расположения пусковых установок и местоположения целей.

По этой системе все ракеты разделяют на четыре класса: «земля — земля»; «земля — воздух»; «воздух — земля»; «воздух — воздух». В этих четырех классах первое слово обозначает расположение пусковых установок ракет, второе — местоположение целей.

Ракеты класса «земля — земля» запускаются с земли, надводного корабля или подводной лодки для поражения наземных, надводных или подводных целей.

Ракеты класса «земля — воздух» запускаются с земли (корабля) по воздушным целям. Это зенитные управляемые ракеты для поражения самолетов и крылатых ракет противника в воздухе.

Ракеты класса «воздух — земля» запускаются с самолетов или вертолетов для поражения наземных, надводных и подводных целей.

Ракеты класса «воздух — воздух» запускаются также с самолетов для поражения воздушных целей (самолетов противника).

По конструктивным особенностям и обеспечивающим полет силам ракеты разделяются на две большие группы: баллистические ракеты и крылатые ракеты.

Баллистическая ракета — бескрылый летательный аппарат. Получив определенную начальную скорость за счет реактивных двигателей, он весь последующий полет совершает по законам баллистики подобно артиллерийскому снаряду.

Крылатая ракета — летательный аппарат для управления полетом в воздушной среде использует силу, создаваемую крылом.

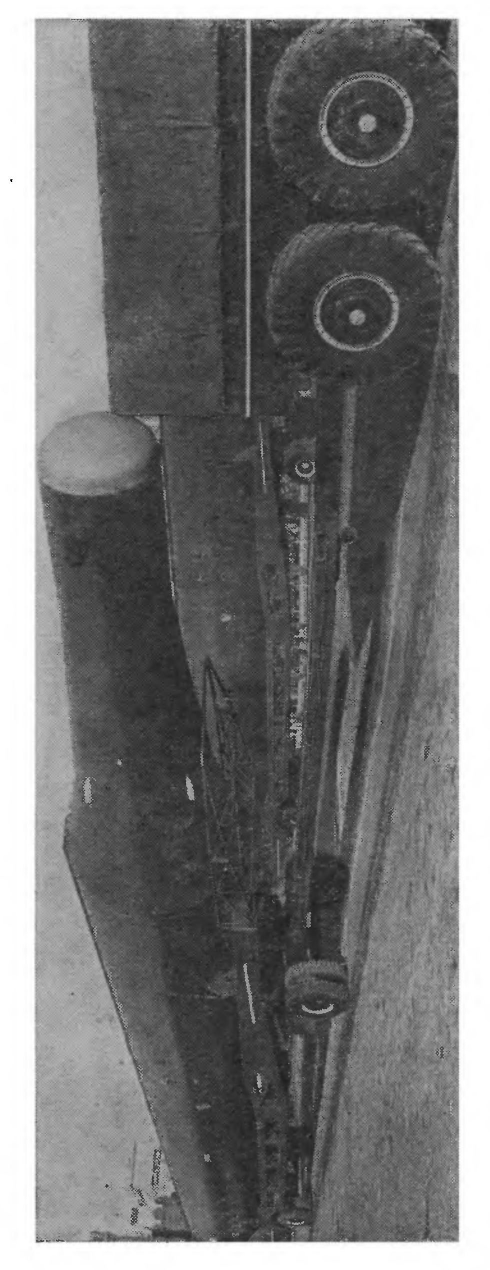


Рис. 1. Советские ракеты на параде



Рис. 2—3. Советская баллистическая ракета подводных лодок



Рис. 4. Советские ракеты класса «земля — воздух» (зенитные ракеты) сухопутных войск

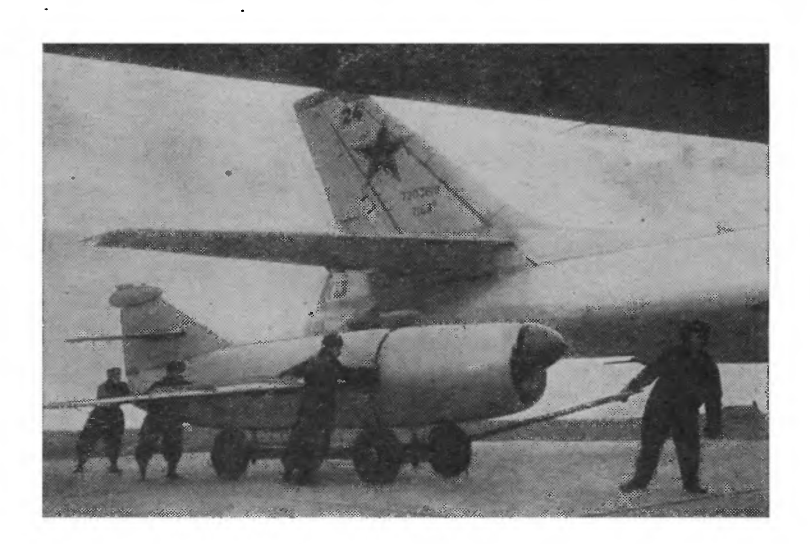


Рис. 5. Советская крылатая ракета класса «воздух — земля» подвешивается под ракетоносец



Рис. 6. Советский ракетоносец в полете



Рис. 7. Советские самолеты-перехватчики, вооруженные ракетами класса «воздух — воздух»

Управляющая сила у крыла возникает, если оно движется в воздухе или в другой плотной среде, например в воде. Поэтому траектория крылатой ракеты пролегает в приземных сравнительно плотных слоях атмосферы (до 25—30 км). Крылья используются для управления полетом ракет классов «земля — воздух», «воздух — земля», «воздух — воздух» и противотанковых управляемых реактивных снарядов. Разновидность кры-

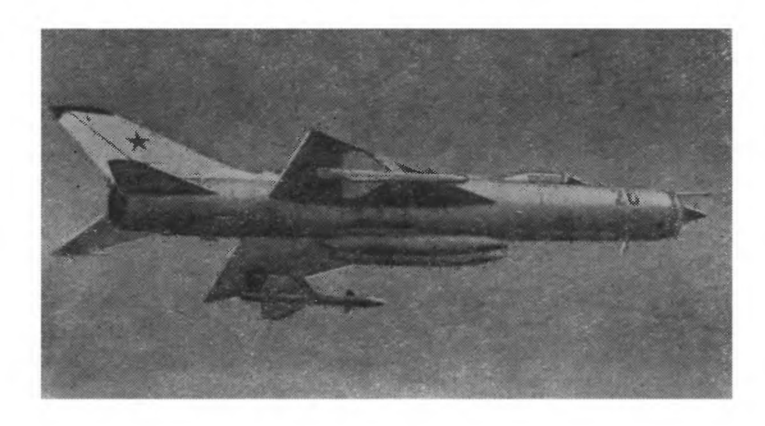


Рис. 8. Советский самолет-перехватчик, вооруженный ракетами класса «воздух — воздух»

латой ракеты — **самолет-снаряд.** Это беспилотный летательный аппарат. Он построен по самолетной схеме. У самолета-снаряда кабина летчика используется для размещения боевого заряда. Полет самолета-снаряда к цели обычно происходит на одной и той же высоте с работающим двигателем. В районе цели самолет-снаряд пикирует и наводится приборами самонаведения на цель. Поскольку самолет-снаряд к цели движется на постоянной высоте, он сильно подвержен действию средств ПВО противника. Поэтому самолеты-снаряды вытесняются баллистическими ракетами. За рубежом (ВВС США) имевшийся на вооружении самолет-снаряд тактического назначения — «Мэйс» также снимается.

В иностранных армиях по принципу управления ракеты делят в основном на два вида: неуправляемые и управляемые.

К неуправляемым ракетам относят такие ракеты, которые с момента схода с направляющих пусковых установок летят без какого-либо управляющего воздействия со стороны человека или приборов. Направление и дальность полета этих ракет задаются определенным ориентированием пусковой установки по азимуту и углом возвышения направляющей, а также скоростью ракеты. Крупный недостаток неуправляемых ракет — большое рассеивание относительно цели. В ряде зарубежных армий неуправляемые ракеты заменяют управляемыми.

Управляемые ракеты оборудованы специальными устройствами для встречи ракеты с целью. В зависимости от назначения ракеты управляются на протяжении всего полета от старта до цели или только на начальном участке полета, т. е. до момента окончания работы (отсечки) двигателя, для вывода ракеты на траекторию, гарантирующую попадание в цель. Системы управления обеспечивают хорошую точность попадания ракет в цель, высокую надежность ее поражения.

В иностранных армиях в зависимости от назначения ракеты, характера цели и дальности стрельбы для управления ракет применяют различные системы управления. По принципу действия все системы управления делят на три основные группы: системы телеуправления (дистанционного управления), системы самонаведения, автономные системы управления.

Системы телеуправления на расстоянии с командного пункта по проводам или по радио наводят ракеты на цель. С командного пункта производят управление полетом ракеты, измеряют координаты ракеты и цели. Для встречи ракеты с целью на командном пункте вырабатывают командные сигналы и передают их на исполнительные механизмы ракеты.

Системы управления по проводам просты по устройству и обладают хорошей защитой от помех противника. Они применяются в основном для управления противотанковыми снарядами, полет которых ограничен по дальности несколькими километрами. Оператор с командного пункта визуально наблюдает за снарядом, передает необходимые сигналы на его приемное устройство, удерживая снаряд на линии командный пункт — цель.

Каков принцип работы радиокомандной системы телеуправления? Наводят ракеты способом радиокомандных сигналов при помощи командного блока, линии связи и исполнительного блока. Следят за целью и снарядом два радиолокатора. Один радиолокатор определяет текущие координаты цели, а другой — координаты ракеты. Эти данные поступают в счетно-решающее устройство. Оно решает задачу встречи ракеты с целью.

Командный блок вырабатывает радиосигнал (радиокоманду), предварительно зашифровав его, чтобы исключить влияние радиопомех противника. Зашифрованный радиосигнал передается в исполнительный блок ракеты. Там он дешифрируется, усиливается и поступает на приводы рулей ракеты. Они заставляют ракету двигаться по заданной траектории для встречи с целью. Системы телеуправления используют в США в ракетах класса «земля — воздух» и «воздух — земля».

Системы самонаведения применяют в США для наведения ракет на цель на конечном участке траекторий их полета. В этих системах измерение координат цели производится бортовыми приборами. Они установлены на самой ракете и измеряют координаты цели относительно ракеты (относительные координаты). В соответствии с измеренными значениями координат системой управления формируется командный сигнал. Рули ракеты, получив его, отклоняются так, чтобы в некоторый

момент времени координаты цели относительно снаряда стали равными нулю. В этом случае ракета попадает в цель.

Измеряют относительные координаты в таких системах световыми или радиоизлучениями. Они излучаются целью или отражаются от нее. Цель выделяется на фоне окружающих предметов, становится контрастной.

Системы самонаведения подразделяют на пассивные, использующие собственное излучение цели; полуактивные, использующие отраженные от цели излучения (они создаются мощным источником вне ракеты); активные, использующие отраженные от цели излучения (они создаются источником на самой ракете).

Системы самонаведения в США применяют в ракетах класса «воздух — воздух», «воздух — земля» и «земля — воздух», т. е. в ракетах для поражения движущихся целей.

Автономные системы управления используют в основном в ракетах класса «земля — земля» при стрельбе по неподвижным целям с неподвижных или подвижных пусковых установок. Ведь в этом случае координаты точек старта и цели заранее известны. Траектория движения ракеты может быть заранее рассчитана и введена еще на старте в виде специальной программы в систему управления ракеты. В полете система управления автоматически корректирует полет ракеты в соответствии с заданной программой. При этом всякое воздействие со стороны на систему управления совершенно исключается.

В США существует большое количество разновидностей систем автономного управления. Познакомимся с принципом действия одной из наиболее распространенных систем управления — инерциальной. В этой системе имеются чувствительные измерители ускорений (аксельрометры). Основываясь на их показаниях, бортовая счетно-решающая аппаратура в каждый данный момент времени определяет скорость, путь и снос ракеты. Значения этих величин непрерывно сравниваются с заданной программой полета. При отклонении указанных величин от заданных системой вырабатываются сигналы поправок. Они действуют на

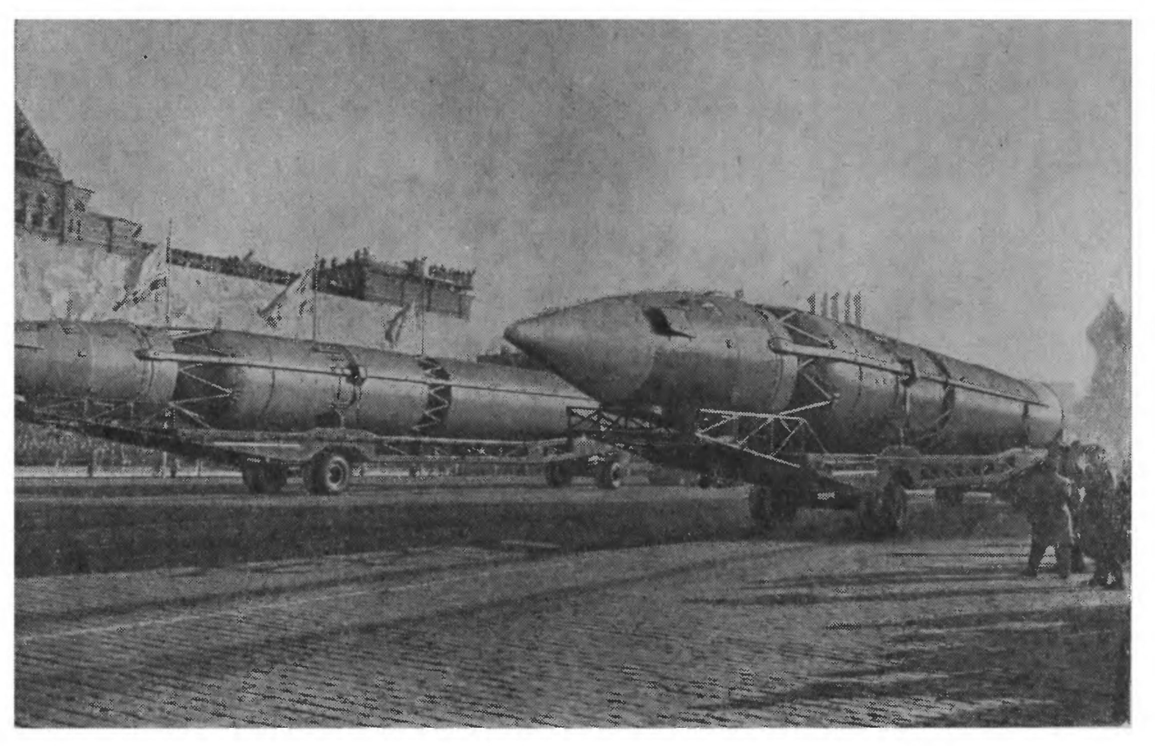


Рис. 9. Советские глобальные баллистические ракеты

рулевые органы ракеты и выводят ее на заданную траекторию.

В США для наведения ракет на цель часто используют комбинированные системы управления. Они включают различные комбинации систем управления, например, телеуправления и самонаведения, автономной и самонаведения и др.

Наиболее мощные носители ядерного оружия — ракеты класса «земля — земля». Ракеты этого класса могут решать разнообразные боевые задачи тактического и стратегического масштабов. Все ракеты класса «земля — земля» по боевому предназначению за рубежом делят на два вида: тактические и оперативно-тактические и стратегические.

Тактические ракеты служат для огневой поддержки войск на поле боя, т. е. решения задач тактического характера.

Стратегические ракеты высшее командование применяет для уничтожения жизненно важных объектов противника, т. е. решения стратегических задач.

2. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАКЕТ. Баллистические ракеты самые совершенные носители ядерных боеприпасов. Рассмотрим характеристики ракет этого типа.

Траекторию баллистической ракеты из точки *С* в точку *Ц* (рис. 10) можно разбить на участки: стартовый, наведения, пассивный, стабилизации.

На стартовом участке *СА*, как правило, баллистическая ракета движется вертикально, пробивая по наикратчайшему пути плотные слои атмосферы.

Вертикальный запуск ракеты позволяет сократить время ее движения в плотных слоях атмосферы, уменьшить расход энергии на преодоление сопротивления воздуха. Кроме этого, наклонный старт больших ракет потребовал бы длинных и громоздких направляющих. Наклонный старт часто применяют для ракет с небольшой дальностью стрельбы (тактических ракет). Для старта баллистической ракеты необходимо, чтобы реактивная сила, создаваемая работой реактивного двигателя, была больше ее веса. Эта сила называется силой тяги двигателя.

Отношение тяги двигателя к весу ракеты называется тяговооруженностью ракеты. Чем больше тягово-

оруженность, тем больше ускорение ракеты, тем быстрее она наберет скорость. Но слишком большая тяговооруженность также нежелательна, ведь тогда возможны большие потери энергии за счет сопротивления воздуха в плотных слоях атмосферы. Оптимальные значения стартовой тяговооруженности ракеты находятся, по зарубежным данным, в пределах 1,6÷1,8.

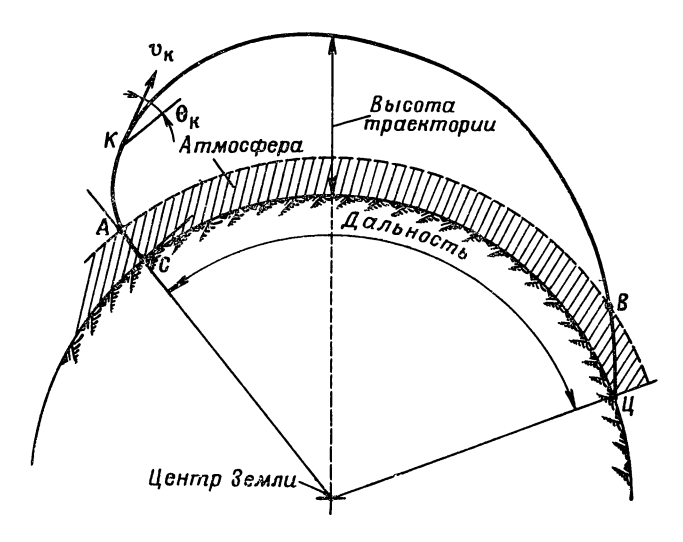


Рис. 10. Траектория баллистической ракеты:
СА — стартовый участок; АК — участок наведения; КВ — пассивный участок, ВЦ — участок стабилизации, СЦ — дальность полета ракеты; $\Theta_к$ — угол тангажа (бросания)

Участок наведения ракеты *АК* — часть траектории. На ней она осуществляет запрограммированный поворот в направлении цели. Все это время ракета движется в плоскости стрельбы, т. е. в вертикальной плоскости, проходящей через точку старта *С* и цель *Ц*. В конце участка наведения (точка *К*) ракета должна получить расчетные для заданной дальности полета значения скорости $V_к$, угла наклона вектора скорости к горизонту $\Theta_к$ (угол тангажа) и удерживаться в заданной плоскости стрельбы (по азимуту). В конце участка наведения выключается реактивный двигатель. Все

это выполняет система управления ракеты. Участок траектории полета ракеты от точки старта *С* до точки *К*, где выключается реактивный двигатель, называется активным участком траектории полета ракеты. Длина этого участка обычно не превышает 5—10% длины всей траектории ракеты. Изменение направления полета ракеты на активном участке производится по команде специального программного механизма с помощью рулей, которые устанавливаются в газовой струе, выходящей из сопла двигателя (газовые рули) или с помощью изменения направления тяги реактивного двигателя (за счет поворота сопел двигателя, отражателей газовой струи и др.). Получив заданную скорость и направление полета в конце активного участка, отделившаяся головная часть ракеты в дальнейшем движется, подобно артиллерийскому снаряду, по баллистической траектории. Она представляет дугу эллипса, один из фокусов которого находится в центре Земли. Этот участок полета *КВ* называется пассивным участком. Он пролегает обычно в высоких слоях атмосферы. Сопротивлением воздуха там можно пренебречь, а поэтому на головную часть ракеты действует только одна сила тяжести. Вследствие ничтожной плотности воздуха действие каких-либо аэродинамических сил исключается. Полет головной части ракеты не будет стабилизирован, так как ее стабилизатор не может в этих условиях работать. Это значит, что на пассивном участке направление оси может принимать произвольное положение. Центр тяжести ее будет описывать вполне определенную баллистическую траекторию, которую с высокой степенью точности можно рассчитать.

Достигнув вершины траектории, головная часть ракеты под влиянием силы тяжести начинает приближаться к Земле. На нисходящей ветви траектории, начиная с точки *В*, ракета входит в плотные слои атмосферы. Сила сопротивления воздуха затормаживает ее движение и одновременно стабилизирует положение головной части ракеты, и она направляется носовой частью вперед. Поэтому участок траектории *ВЦ* носит название участка стабилизации. Дальность полета ракеты — это расстояние между точками *С* и *Ц*, измеренное по поверхности земли. Дальность стрельбы баллистической ракеты зависит от скорости $V_к$ в конце активного участка трает-

тории и угла $\Theta_к$ между направлением этой скорости и горизонтом (угол бросания). Из теории и практики стрельбы известно, что при одной и той же скорости в конце активного участка можно получить разные дальности полета снаряда или ракеты, меняя угол бросания $\Theta_к$. При некотором угле бросания $\Theta_к$, называемом оптимальным, дальность полета ракеты будет максимальной. Этот угол для разных значений скорости лежит в пределах от 0 до 45°.

Важными характеристиками ракеты будут также максимальная высота траектории и время полета ее к цели. В табл. 1, по зарубежным данным, приведены зависимости максимальной дальности, высоты и времени полета баллистических ракет от скорости полета $V_к$ в конце активного участка траектории.

Таблица 1

Скорость $V_К$, км/сек	Дальность, км	Максимальная высота, км	Время полета, мин.	Оптимальный угол бросания, град.
1,0	100	50	2,6	44,8
2,0	500	160	7,0	44,3
3,0	1000	300	9,2	42,6
4,0	1800	400	11,5	41,0
5,0	3200	495	15,9	38,5
6,0	6000	800	21,8	33,5
6,8	8000	1270	29,0	28,0
7,0	9000	1310	32,0	26,0
7,2	9600	1320	32,5	23,0
7,6	12 800	1230	37,4	18,0
7,7	15 000	1200	38,5	15,2
8,0	Спутник	Заданная	Зависит от перигея	0

Из рассмотрения этой таблицы в иностранной печати делаются такие важные для практики применения ракетно-ядерного оружия выводы:

1. Время полета баллистических ракет к цели невелико и даже при запуске их на другие континенты занимает всего лишь около 30 мин. Это создает условия для внезапного ракетно-ядерного удара.

2. Высота полета межконтинентальных ракет достигает сотен километров, что затрудняет их поражение на траектории.

3. Огромные скорости полета баллистических ракет, измеряемые тысячами метров в секунду, резко затрудняют борьбу с ними.

4. Для межконтинентальных баллистических ракет незначительное изменение в скорости в конце активного участка приводит к резкому изменению дальности стрельбы. Так, у ракеты с дальностью стрельбы 12 800 км увеличение скорости всего лишь на 0,1 км/сек приводит к дальности 15 000 км. Это значит, что чем больше дальность стрельбы, тем точнее должна измеряться скорость ракеты в конце активного участка траектории, так как небольшая ошибка в измерении скорости приводит к большому отклонению точки падения ракеты от расчетной.

Рассеиванис ракет — одна из их важнейших характеристик. Рассеивание относительно намеченного центра взрыва определяет точность стрельбы. Постоянное направление развития стрелкового, артиллерийского, авиационного, а также и ракетного оружия — повышение точности стрельбы. Чем меньше рассеивание ракеты, тем более вероятно попадание ее в цель, а следовательно, и поражение цели. При слишком большом рассеивании для поражения цели потребуется уже не одна, а несколько ракет.

Рассеивание ракет по дальности и по направлению неодинаково. При большом числе пусков (выстрелов) точки падения головных частей ракет вокруг цели распределяются на площади в форме эллипса (его называют эллипсом рассеивания). В этом случае рассеивание ракет по дальности характеризуется вероятным отклонением по дальности $B_д$, а рассеивание в боковом направлении—вероятным отклонением по направлению $B_б$. Физический смысл этих характеристик состоит в том, что при большом числе выстрелов половина отклонений ракет от цели (по абсолютной величине) будет меньше $B_д$ и $B_б$, а половина — больше $B_д$ и $B_б$. Опыт стрельбы неуправляемыми ракетами показывает, что, как правило, $B_д$ больше $B_б$. Рассеивание по дальности современных неуправляемых ракет приближается к рас-

сеиванию артиллерийских снарядов. Как сообщает западногерманский журнал «Труппенпраксис» (№ 6 за 1960 г.), для неуправляемого реактивного снаряда США «Литтл Джон» характерно отношение

$$\frac{B_д}{X} \approx \frac{1}{200},$$

где X — дальность стрельбы. При стрельбе на дальность $X = 25$ км вероятное отклонение по дальности будет равно $B_д = 125$ м.

Для характеристики рассеивания неуправляемых ракет часто пользуются также полным эллипсом рассеивания, полуоси которого равны учетверенным вероятным отклонениям $B_д$ и $B_б$. В полный эллипс практически попадают все ракеты.

Рассеивание по дальности неуправляемых реактивных снарядов зависит от многих факторов. Основные из них: рассеивание скорости $V_к$ в конце активного участка траектории и рассеивание угла наклона вектора скорости к горизонту $\Theta_к$. Рассеивание неуправляемых реактивных снарядов определяется активным участком траектории; пассивный участок меньше влияет на рассеивание снаряда.

Для управляемых ракет рассеивание по дальности и по направлению примерно одинаково. В этом случае для характеристики рассеивания управляемых ракет в США пользуются понятием **кругового вероятного отклонения** (КВО). Под круговым вероятным отклонением понимают радиус круга, в который при большом числе пусков попадает половина ракет. Иногда пользуются также величиной максимального отклонения. Максимальное отклонение равно четырем круговым вероятным отклонениям. В журнале «Труппенпраксис» указывается, что КВО управляемой тактической ракеты «Сержант» на дальности стрельбы 150 км составляет 500 м. Это значит, что все ракеты упадут в круг радиусом 2000 м.

Рассеивание управляемых ракет зависит в значительной мере от конструкции бортовой системы управления. Здесь, так же как и в неуправляемых снарядах, большое значение имеет ошибка в измерении скорости

ракеты в конце активного участка траектории. При этом, как указывалось в американской печати, чем больше дальность стрельбы, тем ошибка в измерении скорости $V_к$ должна быть меньше. При стрельбе на дальность 250 км ошибка в измерении скорости, равная 6 м/сек, приводит к максимальному отклонению ракеты от цели до 2 км. При стрельбе межконтинентальной баллистической ракетой на дальность 8000 км ($V_к$=6000 м/сек) ошибка в измерении скорости всего лишь на 0,3 м/сек приводит к отклонению ракеты от цели более чем на 1600 м.

Удивительной точностью попадания обладают советские управляемые баллистические ракеты. При пуске в акваторию Тихого океана на дальность порядка 13 000 км макеты боевых головок не выходили за пределы квадрата со стороной 2 км.

3. КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ РАКЕТЫ. Баллистическая ракета состоит из таких основных элементов: головной части (ядерного боеприпаса) и корпуса, в котором размещены система управления, ракетные двигатели и баки с запасом топлива.

Головная часть ракеты. В корпусе головной части размещается ядерное зарядное устройство. Оно состоит из ядерного заряда и автоматики, обеспечивающей ядерный взрыв в нужный момент. Корпус головной части предохраняет зарядное устройство от чрезмерного аэродинамического нагрева во время входа с высокой скоростью в плотные слои атмосферы.

Каковы конструктивные особенности корпуса головной части, а также направление развития головных частей баллистических ракет? В США у баллистических ракет стратегического назначения головная часть отделяется от корпуса ракеты в конце активного участка полета и летит по баллистической траектории к цели. На нисходящей ветви траектории из-за действия ускорения силы тяжести скорость головной части возрастает. Она входит в плотные слои атмосферы с такой высокой скоростью (см. табл. 1), что аэродинамический нагрев создает чрезмерно высокие температуры. Так, при испытательных пусках американских ракет «Минитмэн-II» при входе в плотные слои атмосферы с максимальной скоростью 6,7 км/сек была зафиксирована

температура корпуса головной части, равная 6650° С. Теплозащита головной части ракеты — одна из важных задач в ракетостроении. Корпус головной части ракеты — это силовой набор. Он противостоит аэродинамическим и другим нагрузкам во время старта и полета ракеты. Этот набор включает также теплозащитные слои (экраны). Они нужны, чтобы не допустить проникновения внутрь головной части тепла, возникающего за счет трения корпуса о воздух.

В зависимости от достижений науки в области материаловедения в ряде стран применяются различные методы тепловой защиты головной части ракеты. В США, например, использовались два основных метода: первый — с помощью устройств, поглощающих тепло, и второй — устройств, допускающих удаление части теплозащитного слоя корпуса в результате плавления, испарения или разложения (абляции).

При скоростях свыше 4,5 км/сек условия полета головной части ракеты приближаются к условиям полета метеорита. Вторгаясь с огромной скоростью в атмосферу, головная часть впереди себя резко сжимает воздух, создавая скачок уплотнения. Участок между этим скачком уплотнения и корпусом головной части называют ударным слоем. В этом слое у воздуха очень высокая температура. Так, при M[1] = 10 температура воздуха в ударном слое около 3000° К, а при $M = 17$ она уже 6000° К (как на поверхности Солнца). При таких высоких температурах воздух диссоциируется и ионизируется.

Как же это может повлиять на головную часть ракеты? Из-за притока тепла из окружающего головную часть ракеты воздуха (представляющего раскаленную плазму) может произойти расплавление ее поверхностного слоя. Усилившийся приток тепла может привести к тому, что резкое повышение температуры внутри головной части ракеты выведет из строя автоматику ядерного зарядного устройства или преждевременно приведет ее в действие и таким образом уничтожит головную часть. Чтобы избежать этого и доставить бое-

---

[1] Число *М* — отношение скорости полета ракеты или другого летательного аппарата к скорости звука на данной высоте.

вой заряд неповрежденным к поражаемому объекту, применяют различные методы тепловой защиты головной части ракеты.

В первом методе тепловая энергия от раскаленных газов и плазмы, окружающих головную часть, поглощается специальным экраном. Он играет роль своеобразного барьера и не пропускает тепло во внутрь головной части. Такие экраны изготовляются, как правило, из материалов с большой теплоемкостью: медь, бериллий и др.

В чем недостатки этого метода защиты? Теплопоглощающие экраны получаются тяжелыми, требуют очень точной обработки поверхности и полировки ее до зеркальности. В США наибольшее распространение получил второй метод — тепловой защиты головных частей различными абляционными материалами. Тепловая энергия поглощается поверхностью экрана, материал которого плавится, испаряется или возгоняется в газообразное состояние. На это будет уже израсходована часть подводимой тепловой энергии. В дальнейшем материал экрана входит в газовый поток, обтекающий головную часть, и изменяет его характеристики в том направлении, чтобы уменьшить подвод тепла (теплопередачу) к головной части. Как пишет иностранная печать, подбором соответствующего материала аблирующего экрана можно существенно понизить температуру корпуса головной части. Указывается, что в качестве таких материалов могут быть использованы пластики, усиленные стеклотканями, кремнезем, графит и др. Такие материалы, как графит, могут быть тепловыми экранами из-за низкой теплопроводности и высокой точки плавления.

В чем преимущество аблирующих защитных экранов? В том, что для них не существует предела нагрева. Они значительно легче теплопоглощающих экранов, а поэтому применяются для тепловой защиты головных частей межконтинентальных баллистических ракет.

В связи с созданием в ряде стран систем противоракетной обороны корпус головной части помимо защиты боевого заряда от теплового воздействия, а также от динамических нагрузок во время старта и полета выполняет и ряд других задач. Он защищает боевой

заряд от воздействия поражающих факторов антиракеты и несет средства, облегчающие прорыв через систему противоракетной обороны.

По данным журнала «Спейс Аэронотикс» (1966, IX, Vol. 46, № 4), к средствам защиты головной части от антиракет можно отнести:

1. Обломки от взрыва последней ступени ракеты. Они затрудняют распознавание среди них головной части на среднем участке траектории (до входа в плотные слои атмосферы). Наиболее тяжелые осколки могут войти и в плотные слои атмосферы.

2. Ложные цели, например, надувные баллоны или конусы с высокой отражательной способностью к радиоволнам. Они затрудняют распознавание головной части до входа в плотные слои атмосферы. Стальные или другого типа конусы с теплозащитным покрытием способны выдерживать нагрев при входе в плотные слои атмосферы со скоростью, близкой к скорости головной части. Эти жаропрочные ложные цели затрудняют распознавание головной части на конечном участке траектории.

3. Головные части ракеты специальной формы или со специальным радиопоглощающим покрытием позволяют уменьшить радиолокационное сечение головной части.

4. Дипольные отражатели в виде металлических лент или кусков проволоки с длиной, равной половине длины волны радиолокаторов противоракетной обороны, затрудняют распознавание головной части ракеты до входа в плотные слои атмосферы.

5. Маневрирующие головные части ракеты затрудняют перехват их средствами противоракетной обороны противника (уклоняются от антиракеты) или позволяют осуществить маневр на конечном участке траектории для выхода на другую цель. Для маневрирования головной части могут быть использованы реактивные двигатели (за пределами плотных слоев атмосферы) или небольшие крылья (в плотных слоях атмосферы).

6. Головные части, содержащие несколько отдельных ядерных зарядов (многозарядные головные части), разделяемых на среднем участке траектории (за пределами атмосферы). Предполагается, что прорыв хотя бы одного из ядерных зарядов через систему противора-

кетной обороны противника обеспечивает поражение цели, по которой наносится ракетно-ядерный удар. При прорыве всех отдельных зарядов (находящихся в головной части) площадь поражения цели будет больше, чем одного заряда с тротиловым эквивалентом, равным сумме всех отдельных зарядов. По данным иностранной печати, при воздушном взрыве ядерного заряда мощностью 1 млн. т средние повреждения многоэтажных кирпичных зданий будут происходить на площади 177 км^2 (радиус повреждений 7,5 км). При взрыве четырех отдельных зарядов каждый мощностью 1 млн. т площадь повреждений зданий будет равна около 700 км^2 (если зоны повреждений зарядов не накладываются). Если вместо четырех отдельных зарядов взорвать один ядерный заряд мощностью 4 млн. т, то площадь повреждений указанных зданий будет примерно 445 км^2. Значит, площадь повреждений зданий при взрыве отдельных зарядов будет примерно в 1,6 раза больше, чем одного заряда, тротиловый эквивалент которого равен сумме всех отдельных зарядов.

В империалистических армиях разрабатывается и ряд других средств и методов, облегчающих прорыв противоракетной обороны головными частями ракет. Это например: средства создания активных радиопомех радиолокационным станциям противоракетной обороны противника; упрочненные головные части, которые могут противостоять поражающим факторам близкого ядерного взрыва антиракеты; головные части с мощными ядерными зарядами (с тротиловым эквивалентом 60—100 млн. т). В случае перехвата такой головной части ракеты средствами противоракетной обороны противника они могут нанести поражение цели при вынужденном взрыве на высотах до 30 км.

Как указывает иностранная печать, головная часть ракеты может быть комбинированной, т. е. применить сразу несколько из указанных средств, облегчающих прорыв системы противоракетной обороны. Например, нести несколько боевых зарядов и средства, облегчающие прорыв противоракетной обороны. Создание указанных выше средств, облегчающих прорыв противоракетной обороны неизбежно приводит к увеличению веса головных частей баллистических ракет. Чтобы обеспечить стрельбу ракетами на те же дальности, необ-

ходимо увеличить тяговые и другие характеристики реактивных двигателей.

Покажем это на примере межконтинентальной баллистической ракеты США «Минитмэн-III», идущей на смену ракете «Минитмэн-II». Указывается, что головная часть ракеты «Минитмэн-III» будет способна нести до трех ядерных зарядов. Эта ракета имеет стартовый вес 35,4 т, вес головной части — 0,9 т, длину — 18,3 м и максимальный диаметр корпуса — 1,8 м. Таким образом, стартовый вес ракеты «Минитмэн-III» на 2,7 т больше стартового веса ракеты «Минитмэн-II», а вес головной части на 180 кг больше. Новая ракета «Посейдон», запускаемая с атомных подводных лодок, будет в два раза тяжелее ракеты «Поларис».

Ракетный двигатель. Летательные аппараты, снабженные реактивными двигателями, работа которых не зависит от окружающей среды, называют ракетными аппаратами или просто ракетами. Двигатель служит для создания реактивной силы. С помощью его ракета запускается и движется в пространстве. Он придает ракете определенную скорость, от этого зависит дальность ее полета. Максимальную скорость одноступенчатая ракета приобретает в конце активного участка траектории, т. е. в момент окончания работы (или отключения) двигателя. Ее можно вычислить по формуле Циолковского:

$$V_{к} = \gamma \cdot W \cdot \ln\left(1 + \frac{M_{т}}{M_{к}}\right),$$

где W — скорость истечения газов из сопла реактивного двигателя;
γ — коэффициент газодинамических потерь (меньше единицы);
$M_{т}$ — масса топлива в ракете;
$M_{к}$ — масса конструкции ракеты без топлива.

Как видно из формулы, максимальная скорость ракеты $V_{к}$ зависит от скорости истечения газов W и отношения $\frac{M_{т}}{M_{к}} = Z$, которое называют числом Циолковского. Для большинства современных ракет $Z = 6 \div 8$, т. е. на каждый килограмм массы конструкции приходится от 6 до 8 кг топлива. Увеличение максимальной скорости $V_{к}$ возможно за счет увеличения числа Циол-

ковского Z и скорости истечения газов из сопла ракетного двигателя W. Увеличение числа Z идет по линии уменьшения веса конструкции ракеты. Он слагается из веса двигательной установки, системы управления, головной части и корпуса самой ракеты. В иностранной печати указывается, что с целью уменьшения веса корпуса ракеты и двигательной установки широко применяются стеклопластиковые материалы, а для уменьшения веса систем управления используются полупроводниковые микросхемы.

Скорость истечения газов из сопла ракетного двигателя зависит от теплотворной способности топлива:

$$W = 91{,}5\eta\sqrt{H},$$

где H — теплотворная способность топлива, ккал/кг;
η — термический коэффициент полезного действия, учитывающий степень преобразования химической энергии топлива в кинетическую энергию струи газов (для современных иностранных двигателей $\eta = 0{,}4$—$0{,}6$).

Как видно из формул, чтобы увеличить скорость ракеты $V_к$, необходимо изыскивать и разрабатывать топлива с высокой теплотворной способностью. Воспользовавшись формулами, определим наибольшее значение максимальной скорости ракеты $V_к$ в конце активного участка траектории.

По данным иностранной печати, для лучших двигателей $W = 3000$ м/сек, число Циолковского $Z = 9$, коэффициент γ примерно равен 0,7. На основании этих данных для скорости $V_к$ получим значение около 5000 м/сек. Это значение скорости ракеты, которое следует в будущем ожидать для лучших ракетных двигателей. В то же время, как следует из таблицы 1, для запуска ракет на дальности свыше 4000 км требуются скорости, превышающие 5000 м/сек, а искусственных спутников Земли и космических станций 8000 — 11 000 м/сек и более. Пути достижения таких скоростей указал К. Э. Циолковский, предложив многоступенчатые ракеты.

В чем состоит идея составной ракеты? В том, что по мере выгорания топлива от ракеты отделяются ставшие

ненужными части (ступени) ракеты. Полную скорость приобретает головная часть ракеты (полезная нагрузка) от работы всех ступеней. Она будет равна

$$V_n = V_{1c} + V_{2c} + \ldots + V_{nc},$$

где V_{1c}, V_{2c} ... V_{nc} — прирост скорости головной части от работы 1, 2, 3 ... n ступеней.

Вот почему стратегические ракеты и некоторые тактические, а также ракеты для запуска искусственных спутников Земли и космических кораблей имеют несколько ступеней.

Сила тяги ракетного двигателя (реактивная сила) — основной его параметр. Она создается выбрасыванием газов из сопла двигателя и может быть определена приближенно по формуле

$$P = \frac{G_{\text{сек}}}{g} W \text{ кг},$$

где $G_{\text{сек}}$ — секундный расход топлива, кг/сек;
W — скорость истечения газов из сопла двигателя, м/сек;
g — ускорение силы тяжести (9,81 м/сек^2).

Как видим, увеличить тягу двигателя можно. Для этого следует увеличить секундный расход топлива $G_{\text{сек}}$ и скорость истечения газов W. В зависимости от назначения ракеты тяга современных иностранных ракетных двигателей достигает нескольких десятков, сотен и даже тысяч тонн. Ее получают в основном за счет расхода большого количества топлива. Скорость истечения газов W зависит от теплотворной способности топлив H. Поэтому главное требование к ракетным топливам — наибольшее значение H, но оно не единственное.

К топливам предъявляются и другие требования. По мнению иностранных специалистов, это химическая стабильность при длительном хранении и перепаде температур; малая коррозионная способность к материалам конструкции ракеты; высокая механическая прочность (у твердых топлив); топлива не должны быть слишком дорогостоящими; взрывоопасными, слишком ядовитыми; они не должны замерзать при встречающихся в условиях эксплуатации температурах и т. д.

Ракетные двигатели в зависимости от применяемого топлива делятся на жидкостно-реактивные двигатели (ЖРД) и ракетные двигатели твердого топлива (РДТТ).

В ЖРД применяется жидкое топливо обычно из двух компонентов — горючего и окислителя. В ракетах США широко используют азотисто-водородное горючее типа гидразин (N_2H_4), метилгидразин [N_2H_3 (CH_3)] и несимметричный диметилгидразин [N_2H_2 $(CH_3)_2$], аммиак (NH_3), спирт, керосин и др. А в качестве окислителей — окислы азота: двуокись (NO_2) и четырехокись (N_2O_4), жидкий кислород и др.

А какое горючее в РДТТ? Наиболее широко в США используют органические вещества сложного состава: полиэфирные, целлюлозные и полиуретановые смолы, природный, синтетический бутадиеновый, полисульфидный и полиуретановый каучуки, различные нитрополимеры. Смолы и каучуки обладают достаточной прочностью и пластичностью.

В качестве окислителя в современных иностранных РДТТ широко применяется перхлорит аммония (NH_4ClO_4). Это наиболее доступный, дешевый и эффективный окислитель.

В иностранной печати указывается, что современные твердые топлива — это механические смеси горючих и окислителей, а поэтому их обычно называют смесевыми.

Каково основное преимущество этих топлив? Прежде всего большой удельный вес, простота изготовления любых по размеру зарядов, дешевизна.

В ракетной технике для сравнения двигателей друг с другом очень часто пользуются понятием удельной тяги (удельного импульса) $P_{уд}$, которое показывает, с какой эффективностью используется каждая единица расходуемого топлива для создания тяги:

$$P_{уд} = \frac{P}{G_{сек}} \frac{кг/сек}{кг},$$

но

$$P = \frac{G_{сек}}{g} W,$$

тогда

$$P_{уд} = \frac{W}{g}.$$

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

ПЕРИОДЫ	РЯДЫ		ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ										
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			0
			— R_2O	— RO	— R_2O_3	RH_4 RO_2	RH_3 R_2O_5	RH_2 RO_3	RH R_2O_7	RO_4			— —
1	I	K	H 1 ВОДОРОД 1,00797; 1						(H)				He 2 ГЕЛИЙ 4,0026; 2
2	II	L K	Li 3 ЛИТИЙ 6,939; 1 2	Be 4 БЕРИЛЛИЙ 9,0122; 2 2	B 5 БОР 10,811; 3 2	C 6 УГЛЕРОД 12,01115; 4 2	N 7 АЗОТ 14,0067; 5 2	O 8 КИСЛОРОД 15,9994; 6 2	F 9 ФТОР 18,9934; 7 2				Ne 10 НЕОН 20,179; 8 2
3	III	M L K	Na 11 НАТРИЙ 22,9898; 1 8 2	Mg 12 МАГНИЙ 24,305; 2 8 2	Al 13 АЛЮМИНИЙ 26,9815; 3 8 2	Si 14 КРЕМНИЙ 28,086; 4 8 2	P 15 ФОСФОР 30,9738; 5 8 2	S 16 СЕРА 32,064; 6 8 2	Cl 17 ХЛОР 35,453; 7 8 2				Ar 18 АРГОН 39,948; 8 8 2
4	IV	N M L K	K 19 КАЛИЙ 39,102; 1 8 8 2	Ca 20 КАЛЬЦИЙ 40,08; 2 8 8 2	Sc 21 СКАНДИЙ 44,956; 2 9 8 2	Ti 22 ТИТАН 47,90; 2 10 8 2	V 23 ВАНАДИЙ 50,942; 2 11 8 2	Cr 24 ХРОМ 51,996; 1 13 8 2	Mn 25 МАРГАНЕЦ 54,9380; 2 13 8 2	Fe 26 ЖЕЛЕЗО 55,847; 2 14 8 2	Co 27 КОБАЛЬТ 58,9332; 2 15 8 2	Ni 28 НИКЕЛЬ 58,71; 2 16 8 2	
	V	N M L K	Cu 29 МЕДЬ 63,546; 1 18 8 2	Zn 30 ЦИНК 65,37; 2 18 8 2	Ga 31 ГАЛЛИЙ 69,72; 3 18 8 2	Ge 32 ГЕРМАНИЙ 72,59; 4 18 8 2	As 33 МЫШЬЯК 74,9216; 5 18 8 2	Se 34 СЕЛЕН 78,96; 6 18 8 2	Br 35 БРОМ 79,904; 7 18 8 2				Kr 36 КРИПТОН 83,80; 8 18 8 2
5	VI	O N M L K	Rb 37 РУБИДИЙ 85,47; 1 8 18 8 2	Sr 38 СТРОНЦИЙ 87,62; 2 8 18 8 2	Y 39 ИТТРИЙ 88,905; 2 9 18 8 2	Zr 40 ЦИРКОНИЙ 91,22; 2 10 18 8 2	Nb 41 НИОБИЙ 92,906; 1 12 18 8 2	Mo 42 МОЛИБДЕН 95,94; 1 13 18 8 2	Tc 43 ТЕХНЕЦИЙ (99); 2 13 18 8 2	Ru 44 РУТЕНИЙ 101,07; 1 15 18 8 2	Rh 45 РОДИЙ 102,905; 1 16 18 8 2	Pd 46 ПАЛЛАДИЙ 106,4; 18 18 8 2	
	VII	O N M L K	Ag 47 СЕРЕБРО 107,868; 1 18 18 8 2	Cd 48 КАДМИЙ 112,40; 2 18 18 8 2	In 49 ИНДИЙ 114,82; 3 18 18 8 2	Sn 50 ОЛОВО 118,69; 4 18 18 8 2	Sb 51 СУРЬМА 121,75; 5 18 18 8 2	Te 52 ТЕЛЛУР 127,60; 6 18 18 8 2	J 53 ИОД 126,9044; 7 18 18 8 2				Xe 54 КСЕНОН 131,30; 8 18 18 8 2
6	VIII	P O N M L K	Cs 55 ЦЕЗИЙ 132,905; 1 8 18 18 8 2	Ba 56 БАРИЙ 137,34; 2 8 18 18 8 2	La 57 [58-71] ЛАНТАН 138,91; 2 9 18 18 8 2	Hf 72 ГАФНИЙ 178,49; 2 10 32 18 8 2	Ta 73 ТАНТАЛ 180,948; 2 11 32 18 8 2	W 74 ВОЛЬФРАМ 183,85; 2 12 32 18 8 2	Re 75 РЕНИЙ 186,2; 2 13 32 18 8 2	Os 76 ОСМИЙ 190,2; 2 14 32 18 8 2	Ir 77 ИРИДИЙ 192,2; 2 15 32 18 8 2	Pt 78 ПЛАТИНА 195,09; 1 17 32 18 8 2	
	IX	P O N M L K	Au 79 ЗОЛОТО 196,967; 1 18 32 18 8 2	Hg 80 РТУТЬ 200,59; 2 18 32 18 8 2	Tl 81 ТАЛЛИЙ 204,37; 3 18 32 18 8 2	Pb 82 СВИНЕЦ 207,19; 4 18 32 18 8 2	Bi 83 ВИСМУТ 208,980; 5 18 32 18 8 2	Po 84 ПОЛОНИЙ (210); 6 18 32 18 8 2	At 85 АСТАТИН (210); 7 18 32 18 8 2				Rn 86 РАДОН (222); 8 18 32 18 8 2
7	X	Q P O N M L K	Fr 87 ФРАНЦИЙ (223); 1 8 18 32 18 8 2	Ra 88 РАДИЙ (226); 2 8 18 32 18 8 2	Ac 89 [90-103] АКТИНИЙ (227); 2 9 18 32 18 8 2	Ku 104 КУРЧАТОВИЙ (264); 2 10 32 32 18 8 2							

2*

ЛАНТАНОИДЫ

P O N M L K	Ce 58 ЦЕРИЙ 140,12; 2 9 19 18 8 2	Pr 59 ПРАЗЕОДИМ 140,907; 2 8 21 18 8 2	Nd 60 НЕОДИМ 144,24; 2 8 22 18 8 2	Pm 61 ПРОМЕТИЙ (147); 2 8 23 18 8 2	Sm 62 САМАРИЙ 150,35; 2 8 24 18 8 2	Eu 63 ЕВРОПИЙ 151,96; 2 8 25 18 8 2	Gd 64 ГАДОЛИНИЙ 157,25; 2 9 25 18 8 2
P O N M L K	Tb 65 ТЕРБИЙ 158,924; 2 9 26 18 8 2	Dy 66 ДИСПРОЗИЙ 162,50; 2 9 27 18 8 2	Ho 67 ГОЛЬМИЙ 164,930; 2 9 28 18 8 2	Er 68 ЭРБИЙ 167,26; 2 9 29 18 8 2	Tm 69 ТУЛИЙ 168,934; 2 8 31 18 8 2	Yb 70 ИТТЕРБИЙ 173,04; 2 8 32 18 8 2	Lu 71 ЛЮТЕЦИЙ 174,97; 2 9 32 18 8 2

АКТИНОИДЫ

Q P O N M L K	Th 90 ТОРИЙ 232,038; 2 10 18 32 18 8 2	Pa 91 ПРОТАКТИНИЙ (231); 2 9 20 32 18 8 2	U 92 УРАН 238,03; 2 9 21 32 18 8 2	Np 93 НЕПТУНИЙ (237); 2 8 23 32 18 8 2	Pu 94 ПЛУТОНИЙ (244); 2 8 24 32 18 8 2	Am 95 АМЕРИЦИЙ (243); 2 8 25 32 18 8 2	Cm 96 КЮРИЙ (247); 2 9 25 32 18 8 2
Q P O N M L K	Bk 97 БЕРКЛИЙ (247); 2 8 27 32 18 8 2	Cf 98 КАЛИФОРНИЙ (252); 2 8 28 32 18 8 2	Es 99 ЭЙНШТЕЙНИЙ (254); 2 8 29 32 18 8 2	Fm 100 ФЕРМИЙ (257); 2 8 30 32 18 8 2	Mv 101 МЕНДЕЛЕВИЙ (257); 2 8 31 32 18 8 2	(No) 102 (НОБЕЛИЙ) (255); 2 8 32 32 18 8 2	Lr 103 ЛОУРЕНСИЙ (256); 2 9 32 32 18 8 2

Q P O N M L K

Fe 26 — Обозначение элемента; Атомный номер

ЖЕЛЕЗО — Название элемента

55,847 — Атомный вес

2 14 8 2 — Число электронов в слоях

I электронный слой	K
II — " —	— " — L
III — " —	— " — M
IV — " —	— " — N
V — " —	— " — O
VI — " —	— " — P
VII — " —	— " — Q

Целое число в скобках - массовое число наиболее устойчивого изотопа искусственного радиоактивного элемента

Целое число без скобок - массовое число наиболее распространенного изотопа природного радиоактивного элемента

Вак 341, к стр 32

На удельную тягу (скорость истечения) влияют различные факторы: давление в камере сгорания двигателя, степень расширения газов в сопле и его конфигурация, система охлаждения двигателя и другие. Поэтому удельная тяга — важная характеристика не только топлив, но и ракетного двигателя в целом. Каково же влияние $P_{уд}$ на характеристики ракет? Это можно видеть из следующих примеров, приведенных в американских журналах, например, для межконтинентальной баллистической ракеты с дальностью 11 000 км и $P_{уд} = 310 \frac{кг \cdot сек}{кг}$ изменение $P_{уд}$ всего лишь на 1 кг·сек/кг. вызывает изменение дальности на 170 км, а изменение $P_{уд}$ на 1% — более чем на 500 км. Для ракеты-носителя спутника Земли увеличение $P_{уд}$ на 1 кг·сек/кг приводит к увеличению высоты орбиты с 550 км до 600 км, т. е. на 10%, или же к увеличению полезного груза на 1,3%.

Для современных ЖРД удельная тяга достигает 400 кг·сек/кг и выше, в то время как у РДТТ она не превышает 300 кг·сек/кг. Несмотря на это, в ракетах США в основном используются РДТТ. По мнению американских специалистов, объясняется это преимуществами РДТТ по сравнению с ЖРД. В чем они?

1) Прежде всего в постоянной готовности к пуску. Это важнейшее качество ракеты в боевых условиях. В ракетах с ЖРД обычно требуется полная или частичная предварительная заправка топливом перед стартом или частая замена баков из-за коррозионной активности компонентов топлива. Возможное просачивание окислителя через микроскопические отверстия в сварных швах баков и взаимодействие его с влагой может привести к интенсивной коррозии стенок баков. Подобное явление отмечалось с межконтинентальными ракетами США «Титан-2». Это потребовало создания специальных систем для дополнительной осушки воздуха в шахтах ракет «Титан-2». Разработанные системы дополнительной осушки воздуха сейчас установлены на всех американских ракетных базах. Они обеспечивают в шахтах стабильный микроклимат с температурой +16° С и относительной влажностью воздуха не более 32%. Начали появляться ракеты с ЖРД с заводской заправкой топлива. Например, тактическая ракета США

«Ланс» имеет ЖРД с заводской заправкой топлива и гарантийным сроком хранения до 5 лет.

2) Можно отметить простоту конструкции РДТТ. Они не требуют, как ЖРД, баков, трубопроводов, насосных агрегатов и другого оборудования. Надежность работы РДТТ выше, чем ЖРД, и достигает 99%.

Для обслуживания ракет с РДТТ при прочих равных условиях требуется значительно меньше технического персонала, а эксплуатация менее опасна, чем эксплуатация ЖРД, особенно в тех, в которых используются ядовитые и самовоспламеняющиеся компоненты топлива. Как указывается в иностранной печати, численность личного состава, обслуживающего позиции межконтинентальных баллистических ракет США «Минитмэн» с РДТТ составляет в расчете на одну ракету 12 чел., в то время как для обслуживания снятых с вооружения ракет с ЖРД «Атлас» и «Титан-1» требовалось в расчете на одну ракету — 80 чел.

3) У ракеты с РДТТ меньший вес и габариты при равной полезной нагрузке в сравнении с ЖРД, а также меньшая стоимость. Имеются и другие достоинства РДТТ по сравнению с ЖРД. Каковы же недостатки РДТТ? Это — ограниченное время работы двигателей (не более минуты). Неохлаждаемые сопла подвергаются сильной эрозии, из-за чего резко меняются характеристики двигателя; трудно создать двигатели с большой тягой и обеспечить ее регулировку, а также повторное включение двигателя на траектории; процесс сгорания топлива зависит от его начальной температуры; удельная тяга РДТТ меньше, чем у ЖРД.

И все же РДТТ в боевых ракетах США вытесняют ЖРД. Основное преимущество ЖРД — возможность получения больших значений тяг. Поэтому они широко используются для запусков искусственных спутников Земли, космических кораблей и космических станций.

ЖРД позволяют производить многократное включение, несложным путем регулировать тягу в широком диапазоне. Поэтому ЖРД применяют для маневрирования космических кораблей, их мягкой посадки и других целей.

Одно из основных направлений развития ракетных двигателей — увеличение удельной тяги. По мнению иностранных специалистов, для ЖРД перспективными го-

рючими считаются жидкий водород, а также бороводородные топлива, например пентаборан (B_5H_9). К перспективным окислителям относят жидкий озон, жидкий фтор и его соединения: окиси фтора OF_2, перекиси фтора O_2F_2, трифторид хлора ClF_3 и др. Использование фтористых окислителей с гидразином, аммиаком, пентабораном дает возможность увеличить удельную тягу на 25—40%.

Указывается, что большой интерес вызывает топливная пара — жидкие кислород и водород, которые могут увеличить удельную тягу до 450 кг·сек/кг. Наибольшую удельную тягу из всех известных комбинаций топливных пар можно получить от жидких водорода и фтора — до 500 кг·сек/кг. Однако применение указанных перспективных топлив тормозится из-за их сильной токсичности, химической активности, взрывоопасности, малого удельного веса и т. п.

В США ведутся работы по созданию новых топлив к РДТТ. Отмечается, что присадки к смесевым топливам порошков металлов алюминия, бора, бериллия могут повысить удельную тягу до 300 кг·сек/кг и более. В США наряду с усовершенствованием ЖРД и РДТТ ведется разработка гибридных (комбинированных) двигателей. У них горючее твердое, а окислитель жидкий, или наоборот.

4. СТРАТЕГИЧЕСКИЕ РАКЕТЫ — ОСНОВА РАКЕТНО-ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ. Коммунистическая партия, Советское правительство оснащают наши славные Вооруженные Силы самым современным и мощным оружием для быстрого разгрома агрессора. Наряду с ядерными зарядами особое внимание уделяется развитию стратегических ракет. Огромные боевые возможности стратегических ракет и интенсивное их развитие привели к созданию нового вида Советских Вооруженных Сил — Ракетных войск стратегического назначения. Эти войска, обладая необходимым количеством ракет, одновременно могут поражать большое количество объектов агрессора в самых удаленных районах земного шара.

Ракетные войска стратегического назначения способны нанести сокрушающий удар по агрессору. Этот новый вид войск будет использован для решения главных стратегических задач войны — уничтожения ядерных средств нападения агрессора, разрушения основных

его жизненно важных объектов, а также для разгрома главных группировок его вооруженных сил.

Ракетные войска, выполнив эти задачи, создадут условия для успешных боевых действий других видов вооруженных сил с целью окончательной победы над агрессором.

Наши Ракетные войска стратегического назначения имеют такое количество ракет и ядерных зарядов многомиллионной мощности, что в состоянии полностью решить возложенные на них задачи.

В интересах совершенствования этого вида вооруженных сил используются все новейшие достижения советской науки и техники. В последние годы было создано большое количество новых образцов стратегических ракет. Наряду с Ракетными войсками стратегического назначения за истекшие годы у нас создан подводный ракетоносный флот, способный выполнять стратегические задачи по поражению объектов на море и на суше. В его состав вошли новые атомные подводные лодки-ракетоносцы. Они оснащены баллистическими ракетами с подводным стартом и большой дальностью стрельбы.

Стратегические ракеты с ядерными зарядами — основа главной огневой силы нашей страны. У нас есть самые различные ракеты с ядерными зарядами большой мощности. Это обеспечивает надежность выполнения боевых задач по уничтожению любого агрессора, если он осмелится развязать войну. Это следовало бы помнить тем, кто в капиталистических странах думает о новой захватнической войне.

Кроме ракет стратегического назначения в нашей стране имеются также ракеты с ядерными боеприпасами оперативно-тактического и тактического назначения. Они состоят на вооружении Войск ПВО страны, Сухопутных войск, Военно-Морского Флота, а также Военно-Воздушных Сил. Это ракетно-ядерное оружие становится основным средством поражения наземных, воздушных и морских целей агрессора.

Успехи советских людей в создании ракетно-ядерного оружия служат делу мира, дают возможность в спокойной обстановке решать великие задачи строительства коммунизма. Они обрекают на провал агрессивные

замыслы и авантюристические планы американских империалистов о завоевании мирового господства.

Жизнь властно требует от воинов изучать физические основы устройства ракетно-ядерного оружия. Сейчас на вооружении наших частей и кораблей находится совершенная техника. Воину, изучающему ракетно-ядерное оружие, приходится иметь дело с автоматикой, электроникой, счетно-аналитической аппаратурой. И без знания таких наук, как физика, математика, физических основ устройства ракетно-ядерного оружия, в настоящее время трудно глубоко понять процессы, происходящие в ядерных зарядах, электронных схемах, электрических цепях, сложных механизмах. Без высокого уровня технической подготовки всего личного состава, без знания физических основ устройства ракетно-ядерного оружия сейчас невозможно квалифицированное использование современной боевой техники. О физических основах устройства ракетно-ядерного оружия, строении атома и его ядра мы и расскажем в следующей главе.

II. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УСТРОЙСТВА ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ

1. СТРОЕНИЕ АТОМА И ЕГО ЯДРА. Все вещества состоят из мельчайших частиц, называются они атомами. Атомы различных веществ неодинаковы по своему строению. Например, атом водорода отличается от атома железа, а атом железа от атома урана. Вещества из однородных атомов или молекул называют химически простыми веществами, или химическими элементами. К 1969 г. известно 104 химических элемента. Все они представлены в периодической системе Д. И. Менделеева.

В природе большое многообразие веществ, их более миллиона. Откуда же они появились? Отдельные атомы, объединяясь друг с другом, образуют новые частицы — молекулы. Объединение молекул приводит к образованию сложных веществ (вода, спирт и т. п.). Физическими или химическими способами сложные вещества можно разложить на простые.

Атомы — это как бы «кирпичики», из них построена вся окружающая нас природа и мы сами. Это самые

маленькие частицы, на них распадаются вещества при химических реакциях.

Атом состоит из положительно заряженного ядра, вокруг него вращаются отрицательно заряженные частицы, их называют электронами. Они образуют электронную оболочку атома (рис. 11).

Электрон — элементарная ядерная частица материи, обладает отрицательным зарядом. Электрический заряд, меньший, чем у электрона, никогда не наблюдался. Поэтому в атомной физике принято все заряды измерять в зарядах электрона.

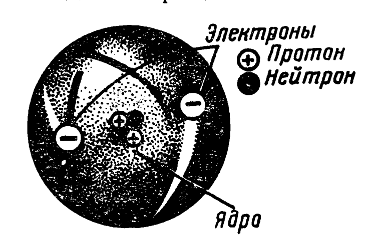


Рис. 11. Схема строения атома гелия

Ядро состоит из протонов и нейтронов, вместе их часто называют нуклонами. Размер атома определяет его электронная оболочка и ее величина порядка 10^{-8} см. Размеры же ядра 10^{-12}—10^{-13} см. Если представить себе атом в виде шара диаметром 100 м, то ядро в нем будет величиной с дробинку диаметром около 1 мм.

У протона — ядерной частицы — положительный электрический заряд, по абсолютной величине равный заряду электрона. Масса протона в 1836 раз больше массы электрона.

У нейтрона — ядерной частицы — нет электрического заряда. Масса нейтрона равна приблизительно массе протона.

У ядер атомов различных элементов неодинаковое количество протонов — от одного (атом водорода) до 104 (атом курчатовия), а значит, и разный заряд.

Количество протонов определяет свойства атома данного химического элемента и равно порядковому (атомному) номеру Z элемента в периодической системе Менделеева. Так, например, у атома водорода один протон, поэтому водород на первом месте, у атома гелия — два протона, гелий на втором месте и т. д.

Число электронов в электронной оболочке атома равно числу положительных зарядов (протонов) в его ядре. Из-за этого атом в целом (при нормальных условиях) электрически нейтрален, то есть не заряжен.

Так как протон (и нейтрон) в 1836 раз тяжелее электрона, а число протонов и электронов в атоме равно, то можно сделать вывод, что почти вся его масса заключена в ядре. Известно, что энергия прямо пропорциональна массе. Отсюда следует, что почти вся энергия атома заключена в его ядре.

Другая важная характеристика атома — массовое число A. Массовое число определяется количеством протонов и нейтронов (нуклонов) в ядре атома и численно равно его атомному весу, округленному до целых единиц. Зная массовое число ядра A и количество протонов (заряд) Z, легко определить число нейтронов N как разность между A и Z: $N = A - Z$. Например, у гелия массовое число $A = 4$, а заряд $Z = 2$. Число нейтронов в его ядре $N=4-2=2$.

Обычно у символа химического элемента эти два числа Z и A ставятся: Z — слева внизу, A — справа вверху. Это будет выглядеть так: для гелия ${}_2He^4$, для железа ${}_{26}Fe^{56}$ и т. д. Число протонов в ядре данного химического элемента остается неизменным. Что же касается нейтронов, то их число может быть различным. Если у атомов в ядрах одинаковое число протонов, но разное число нейтронов, они обладают одинаковыми химическими свойствами, но разными атомными весами (массовыми числами). Такие атомы называют изотопами. Почти каждый химический элемент имеет изотопы. Например, водород имеет три изотопа. Кроме наиболее распространенного изотопа водорода ${}_1H^1$ известны еще два: тяжелый водород ${}_1H^2$ (дейтерий обозначается символом Д) и сверхтяжелый водород ${}_1H^3$ (символ Т). У каждого из них в ядре по одному протону (на электронной оболочке по одному электрону), у дейтерия дополнительно один нейтрон, у трития два нейтрона.

У урана 11 изотопов, но в природных соединениях урана только 3 изотопа: уран-238 (массовое число $A = 238$), уран-235 и уран-234. В их ядрах по 92 протона и соответственно 146, 143 и 142 нейтрона. У 104 химических элементов известно свыше 1000 изотопов.

Электроны движутся вокруг ядра в области, называемой электронной оболочкой. В ней каждый электрон движется по вполне определенной орбите. Орбиты электронов на разных расстояниях от ядра группируются в

слои, окружающие ядро. В каждом слое не более определенного количества электронов. Самый близкий к ядру *K*-слой содержит не более двух электронов; следующий за ним *L*-слой — не более восьми; третий *M*-слой — не более восемнадцати электронов и т. д.

Между электронами и ядром атома действуют электрические силы притяжения. Поэтому электроны, двигаясь, удерживаются на строго определенных орбитах, подобно планетам, движущимся вокруг Солнца. Чем ближе электрон расположен к ядру, тем больше сила связи его с ядром, и наоборот. Следовательно, всегда нужно затратить работу для перевода электрона с меньшей орбиты на бóльшую.

Электрон устойчиво движется по своей орбите, но это не значит, что он навсегда «привязан» к ней. Если сообщить электрону дополнительную энергию (ударом другого электрона, нагреванием тела и т. п.), то он способен «перескочить» с одной близкой к ядру орбиты на более удаленную. При этом атом «возбуждается». Возбужден атом очень короткое время, а затем электрон возвращается опять на свободную, более близкую к ядру орбиту.

При таком обратном переходе электрона на прежнюю орбиту энергия его уменьшается, а ее избыток испускается в виде электромагнитного излучения—светового или рентгеновского. При внешнем воздействии на электрон он может оторваться от атома. Процесс удаления электронов с электронной оболочки атома называется ионизацией. Атом может быть ионизирован отрывом от него одного или нескольких электронов (в этом случае ионизация многократная). Атом или молекула, потерявшие один или несколько электронов, — положительные ионы. Положительный заряд такого иона равен по величине заряду потерянных электронов. Энергию для полного удаления электрона из атома без сообщения ему кинетической энергии называют энергией связи электрона в атоме.

2. РЕАКЦИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ЯДЕРНОМ ОРУЖИИ. Часть энергии из электронной оболочки атомов выделяется при химических реакциях (горение топлива, взрыв обычных взрывчатых веществ и др.) и называется химической. При этом происходит перестройка молекул, но изменяются лишь электронные оболочки

атомов, а ядра неизменны. Химические реакции могут происходить с выделением энергии и с поглощением ее.

При взрыве 1 кг тротила выделяется около 1000 больших калорий тепла, при сгорании 1 кг хорошего каменного угля — до 7000, а 1 кг нефти — до 11 000 больших калорий. Значительно большие количества энергии могут быть получены из ядер атомов. Запасы энергии в них во много раз превосходят запасы энергии в электронных оболочках. Энергия, освобождающаяся при ядерных реакциях, в миллионы раз превышает энергию, выделяющуюся при сжигании такого же количества лучшего топлива.

В отличие от химических ядерные реакции связаны с изменениями в ядрах атомов. При этом увеличивается или уменьшается число нейтронов или протонов. Это приводит к образованию нового химического элемента или нового изотопа исходного элемента.

При ядерных реакциях, как и химических, либо выделяется энергия, либо она поглощается.

Энергию, если она выделяется или поглощается при ядерных реакциях, называют ядерной.

Для того чтобы получить представление о ядерных реакциях, используемых в ядерном оружии, рассмотрим силы в ядре, действующие между частицами (протонами и нейтронами).

Как известно, частицы с одинаковыми по знаку электрическими зарядами отталкиваются друг от друга. Казалось бы, при таких условиях ядра атомов, в состав их входят одинаково заряженные частицы — протоны, должны самопроизвольно распадаться. Но ядра в большинстве случаев очень устойчивы. Чем же это объясняется? В ядре кроме сил электростатического отталкивания действуют особые внутриядерные силы, они препятствуют разрушению ядра.

Ядерные силы проявляются лишь на очень близких расстояниях: радиус их действия не превышает 10^{-12} см. Устойчивость ядра зависит от соотношения числа протонов и нейтронов в нем. Если количество протонов и нейтронов в ядре отклоняется от определенного соотношения, ядро будет неустойчивым. Неустойчивые ядра самопроизвольно изменяются, превращаясь в устойчи-

вые. В природе это явление наблюдается у ядер тяжелых элементов: урана, радия и некоторых других.

Поскольку между протонами и нейтронами в ядре действуют силы притяжения, то очевидно, что для расщепления устойчивого ядра на составляющие его частицы нужно совершить работу против ядерных сил и затратить некоторую энергию. Наоборот, при образовании ядра из протонов и нейтронов такое же количество энергии выделяется. Энергию, выделяющуюся при образовании ядра атома химического элемента из протонов и нейтронов, называют энергией связи, или энергией образования ядра.

Как определить энергию связи ядра какого-либо химического элемента? Опытами установлено, что масса ядра любого атома на некоторую небольшую величину Δm всегда меньше суммы масс отдельных нейтронов и протонов, необходимых для образования ядра. Покажем это на примере ядра гелия $_2He^4$, в состав его входят два протона и два нейтрона. Сумма масс двух протонов и двух нейтронов равна $2 \cdot 1{,}0076 + 2 \cdot 1{,}0089 = 4{,}033$ атомной единицы массы (аем)[1]. Масса же ядра гелия — 4,003 аем. При образовании ядра гелия потеря массы равна 0,03 аем. Убыль массы при образовании ядер получила название дефекта массы.

Исходя из закона взаимосвязи массы и энергии, по выделившейся массе легко определить и количество выделенной энергии. При определении энергии по формуле массу, выраженную в атомных единицах, переводят в граммы. Для ядра гелия энергия образования равна

$$E = \Delta m \cdot C^2 = 0{,}03 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-24} \cdot (3 \cdot 10^{10})^2 =$$
$$= 45 \cdot 10^{-6} \text{ эрг} = 1{,}08 \cdot 10^{-12} \text{ калорий.}$$

Здесь Δm — масса в граммах, C — скорость света в см/сек.

Для того чтобы определить, какое количество энергии освободится при образовании одного грамма гелия, найденное количество энергии надо умножить на

---

[1] 1 аем $= 1{,}66 \cdot 10^{-24}$ г.

число атомов в грамме гелия[1] ($1,5 \cdot 10^{23}$). Количество энергии, выделяющееся при образовании одного грамма атомов гелия, равно $1,08 \cdot 10^{-12} \cdot 1,5 \cdot 10^{23} = 1,6 \cdot 10^{11}$ калорий. Примерно такое же количество энергии дает Днепрогэс в течение часа.

Выраженная в Мегаэлектрон-вольтах[2] энергия связи ядра гелия равна

$$\frac{1,08 \cdot 10^{-12}}{3,8 \cdot 10^{-20}} = 28 \cdot 10^6 \text{ эв} = 28 \text{ Мэв}.$$

Для расчетов иногда более удобно пользоваться не полной энергией связи на все ядро E, а удельной энергией связи на один нуклон $\frac{E}{A}$. Для ядра гелия из четырех нуклонов ($A = 4$) энергия связи на один нуклон будет равна $\frac{E}{A} = \frac{28}{4} = 7$ Мэв.

Дефект массы определен для всех ядер химических элементов. Например, для ядра тяжелого водорода (дейтерия) он равен 0,00235 аем, для ядра лития — 0,034 аем, ядра никеля — 0,171 аем, ядра криптона — 0,756 аем, ядра урана — 1,915 аем. Для всех химических элементов можно определить энергию связи. У приведенных химических элементов энергия связи на один нуклон будет равна: для дейтерия — 1,09 Мэв, лития — 5,35 Мэв, никеля — 8,0 Мэв, криптона — 8,7 Мэв, урана — 7,6 Мэв. Вычисленные таким образом значения энергии связи ядер всех химических элементов на один нуклон $\frac{E}{A}$ приведены на кривой рис. 12.

---

[1] Число атомов в одном грамме любого химического элемента равно числу Авогадро ($6,02 \cdot 10^{23}$), деленному на атомный вес этого элемента. Для гелия атомный вес равен четырем, тогда это число составляет $\frac{6,02 \cdot 10^{23}}{4} = 1,5 \cdot 10^{23}$ атомов.

[2] За единицу энергии в атомной физике принят электрон-вольт (эв). Электрон-вольт представляет собой кинетическую энергию, которую приобретает электрон при прохождении им ускоряющего электрического поля с разностью потенциалов в 1 вольт.

$$1 \text{ эв} = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ эрг} = 3,82 \cdot 10^{-20} \text{ кал}$$

$$1 \text{ Мегаэлектрон-вольт (Мэв)} = 10^6 \text{ эв}.$$

На рис. 12 по горизонтальной оси отложено массовое число элементов A, а по вертикальной оси — энергия связи ядра на один нуклон $\frac{E}{A}$ в Мэв.

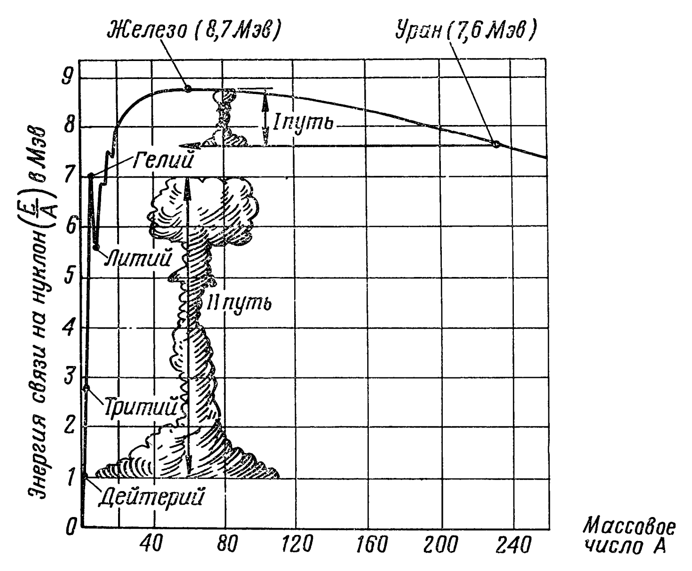


Рис. 12. Кривая энергии связи. Возможные два пути высвобождения ядерной энергии: первый путь — деление ядер урана на более легкие ядра; второй путь — образование ядер гелия из ядер дейтерия и трития. Второй путь более выгоден (это наглядно видно из сравнения величины облаков взрывов)

Из рисунка видно, что наибольшая удельная энергия выделяется при образовании ядер атомов с массовым числом 60—80 в средней части периодической таблицы Менделеева. Ядра атомов в начале и в конце периодической таблицы образуются с меньшим выделением энергии на один нуклон. Кривая удельной энергии связи дает наглядное представление об устойчивости (прочности) атомных ядер химических элементов. Чем прочнее ядро, тем больше нужно затратить энергии на преодоление ядерных сил притяжения при отщеплении от ядра одного нуклона, протона или нейтрона. Необходимая для этого энергия показана на рис. 12 для каждого химического элемента.

Такая же величина энергии на один нуклон выделится при образовании ядра из протонов и нейтронов.

Поэтому, чем больше удельная энергия связи, тем устойчивее (прочнее) ядро. Наибольшей прочностью обладают ядра атомов химических элементов средней части таблицы, а наименьшей — начала и конца таблицы.

Каковы же два возможных в принципе способа высвобождения ядерной энергии? Первый — деление ядер тяжелых элементов, расположенных в конце периодической таблицы, на более легкие ядра; второй — соединение (синтез) ядер легких элементов (например, водорода) в более тяжелые ядра (например, гелия).

а) Высвобождение внутриядерной энергии при делении тяжелых ядер урана на более легкие ядра. На кривой рис. 12 видно, что энергия связи на один нуклон ядра урана равна 7,6 Мэв, а энергия связи на один нуклон ядер железа и других близко расположенных элементов — 8,7 Мэв. Если осуществить ядерную реакцию, где ядра железа и близких к нему в таблице элементов будут образовываться делением ядер урана, то будет выделяться 1,1 Мэв на один нуклон (выделяющаяся энергия равна разности энергии связи конечных и исходных элементов). Обратная реакция, то есть соединение ядер элементов среднего веса в ядра урана, потребовала бы затраты такого же количества энергии.

Подсчитаем, какое количество энергии выделяется при делении ядер одного килограмма урана. При делении одного ядра урана-235 на два приблизительно равных ядра атомный вес каждого из этих более легких ядер составит примерно $\frac{235}{2} = 117$ аем. Так как энергия связи на каждый нуклон этих легких ядер равна примерно 8,5 Мэв, то полная энергия связи одного легкого ядра будет $117 \cdot 8{,}5 = 994$ Мэв. Полная же энергия связи ядра урана-235 из 235 нуклонов равна $235 \cdot 7{,}6 = 1786$ Мэв. При делении одного ядра урана на два легких осколка высвободится энергия, равная разности полной энергии связи двух образовавшихся ядер легких элементов и полной энергии связи ядра урана, то есть $2 \cdot 994 - 1786 = 202$ Мэв.

В 1000 г урана содержится $\frac{6{,}02 \cdot 10^{23} \cdot 1000}{235} =$ $= 2{,}56 \cdot 10^{24}$ атомов. При расщеплении всех ядер этих атомов высвободится энергия, равная $2{,}56 \cdot 10^{24} \cdot 202 =$ $= 520 \cdot 10^{24}$ Мэв $\cdot 2 \cdot 10^{13}$ калорий $= 2 \cdot 10^{10}$ больших калорий (1 Мэв $= 3{,}8 \cdot 10^{-14}$ калорий).

Подсчитаем, сколько же нужно взорвать тротила, чтобы получить такое количество энергии. Известно, что при взрыве 1 кг тротила выделяется около 1000 больших калорий. Следовательно, в нашем случае нужно будет одновременно взорвать очень большое количество тротила, примерно 20 тыс. т.

б) Высвобождение внутриядерной энергии при соединении легких ядер атомов (водорода) в более тяжелые ядра (гелия). Рассчитаем, какое количество энергии выделится при образовании ядра гелия из ядер дейтерия и трития. Полная энергия связи ядра дейтерия из двух нуклонов равна $2 \cdot 1{,}09 = 2{,}18$ Мэв, а ядра трития из трех нуклонов равна $3 \cdot 2{,}78 = 8{,}34$ Мэв. Полная же энергия связи ядра гелия равна 28 Мэв. При образовании одного ядра атома гелия из ядер дейтерия и трития высвободится ядерная энергия: $28 - (2{,}18 + 8{,}34) = 17{,}48$ Мэв.

Вычислим количество энергии, выделяющееся при образовании всех ядер атомов одного килограмма гелия из ядер дейтерия и трития.

В 1000 г гелия $\frac{6{,}02 \cdot 10^{23} \cdot 1000}{4} = 1{,}5 \cdot 10^{26}$ атомов. Поэтому при образовании 1 кг гелия из ядер дейтерия и трития высвободится ядерная энергия $17{,}48 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{26} =$ $= 26{,}2 \cdot 10^{26}$ Мэв $= 1{,}0 \cdot 10^{14}$ калорий $= 1{,}0 \cdot 10^{11}$ больших калорий.

Если сравним расчеты, выполненные нами для первого и второго способов высвобождения ядерной энергии, то увидим, что при втором способе энергии выделяется примерно в пять раз больше, чем в первом.

Оба эти способа применяют на практике. Первый способ — деление ядер атомов урана или плутония на более легкие с помощью цепной ядерной реакции — в ядерных боеприпасах и атомных силовых установках; второй способ — образование с помощью термоядерной реакции ядер гелия из ядер атомов дейтерия и трития — в термоядерных боеприпасах.

3. ПРИНЦИПЫ УСТРОЙСТВА АТОМНЫХ ЗАРЯДОВ. При бомбардировке нейтронами ядер атомов урана или плутония они делятся на ядра более легких элементов. При этом выделяется значительная ядерная энергия.

Нейтрон, попадающий в ядро урана, возбуждает его и делает менее устойчивым. Ядро делится на два (реже на три) ядра химических элементов средней части таблицы Менделеева. При этом испускается 2—3 нейтрона. Например, из урана образуются пары ядер теллура и циркония, ксенона и стронция, криптона и бария и другие, причем обычно эти ядра имеют различные массы. Новые ядра («осколки») сильно перегружены нейтронами. В ядре урана-235 143 нейтрона, а в природе изотопы, например криптона и бария, имеют соответственно не более 50 и 82 нейтронов, в сумме 132 нейтрона. У ядер криптона и бария, образовавшихся при делении урана, 11 лишних нейтронов. «Осколки» деления становятся радиоактивными. Они испускают бета-частицы потому, что часть нейтронов в ядрах превращается в протоны.

Способность ядра урана испускать при своем делении несколько нейтронов лежит в основе так называемой цепной ядерной реакции. В чем же ее сущность? Условимся для простоты, что в куске урана при каждом делении одного ядра появляется два свободных (вторичных) нейтрона (рис. 13).

Сталкиваясь с двумя ядрами и вызывая их деление, два вторичных нейтрона порождают уже четыре свободных нейтрона, те в свою очередь вызывают деление четырех ядер, при этом появляется уже восемь вторичных нейтронов и т. д.

Так, число разделившихся ядер и число освобождающихся нейтронов будет нарастать с огромной скоростью, лавинообразно, без какого-либо внешнего воздействия.

Такой процесс называют цепным процессом деления ядер. Он протекает в миллионные доли секунды. Происходит почти мгновенное высвобождение энергии, то есть атомный взрыв.

При взрыве выделится огромное количество энергии. Например, при делении атомных ядер одного килограмма урана-235 высвобождается энергия, равная энергии взрыва 20 тыс. т тротила.

Какое же условие необходимо для цепной ядерной реакции? Опыты показывают, что не все освободившиеся нейтроны вызывают деление последующих ядер. Часть из них улетает за пределы куска урана, а часть захватывается ядрами урана, не вызывая их деления. В зависимости от доли потерянных нейтронов цепные реакции могут протекать с различными скоростями.

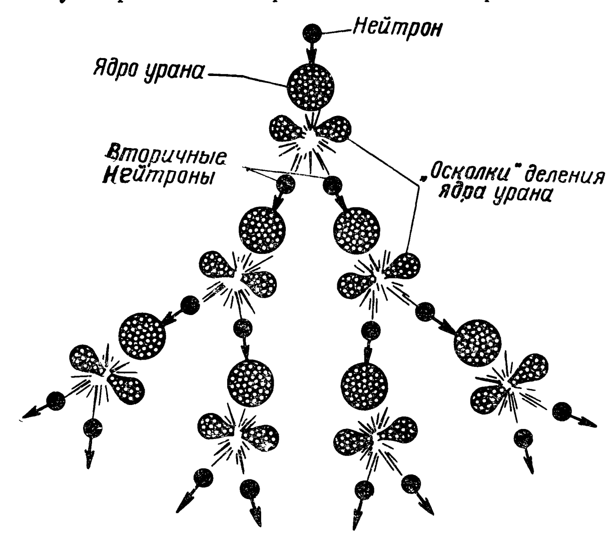


Рис. 13. Схема развития цепной ядерной реакции

Если из трех нейтронов, появившихся в результате деления ядра урана, только один вызывает деление следующего ядра, то цепная реакция будет происходить с постоянной скоростью. Если же число новых делений будет меньше или больше одного, то в первом случае цепная ядерная реакция будет затухать, а во втором — протекать со все возрастающей скоростью и окончится взрывом.

Для ускоренной цепной реакции необходимо, чтобы в среднем более чем один нейтрон из освободившихся при делении каждого ядра вызвал последующее деление.

Среднее число новых делений, вызванных нейтронами одного разделившегося ядра, называется коэффи-

циентом развития цепной ядерной реакции. Цепная ядерная реакция взрывного характера возможна только в том случае, если величина коэффициента развития реакции больше единицы. Чем больше этот коэффициент по сравнению с единицей, тем быстрее протекает ядерная реакция в заряде. Как известно, природный уран состоит в основном из двух изотопов — урана-235 (0,7%) и урана-238 (99,3%). Ядра урана-235 делятся нейтронами любой энергии, большой и малой. Ядра же атома урана-238 делятся только нейтронами, энергия их больше некоторого порогового значения, равного 1,1 Мэв. При меньшей энергии нейтрона он захватывается ядром урана-238, не производя деления.

Из этого следует, что наиболее распространенный в природе изотоп урана — уран-238 не может быть использован в оружии для цепной ядерной реакции деления. Для этой цели пригоден только уран-235 (или природный уран, сильно обогащенный ураном-235), а также искусственно полученные уран-233 и плутоний. Уран-233 получают из тория, а плутоний — из урана-238 при облучении их нейтронами в ядерных реакторах.

От чего зависит величина коэффициента развития цепной ядерной реакции? Величина коэффициента развития цепной ядерной реакции зависит от ряда факторов. Наиболее важные из них — тип и количество делящегося вещества, форма заряда, материал оболочки, в которую этот заряд заключен, а также наличие примесей в веществе заряда. Наименьшее количество делящегося вещества, в котором возможна самоподдерживающаяся цепная ядерная реакция, называют критической массой. При большей массе реакция носит взрывной характер. Критическая масса имеет наименьшую величину в случае, когда кусок делящегося вещества формы шара. Расчет показывает, что для урана-235 в этом случае критическая масса несколько десятков килограммов, для плутония и урана-233, по данным иностранной печати, 5—6 кг.

Существенное влияние на коэффициент развития цепной ядерной реакции и величину критической массы может оказывать специальная оболочка (отражатель нейтронов) вокруг заряда делящегося вещества. Эта оболочка возвращает нейтроны, вылетающие из делящегося вещества, в зону ядерной реакции. Отражатель,

возвращая в зону ядерной реакции часть нейтронов, вылетающих из делящегося вещества, способствует увеличению коэффициента развития цепной ядерной реакции и уменьшению величины критической массы делящегося вещества.

Наличие примесей в делящемся веществе также сказывается на величине коэффициента развития цепной ядерной реакции. С увеличением примесей величина коэффициента развития цепной ядерной реакции уменьшается, а величина критической массы возрастает. Если примесей много, они поглощают значительное количество нейтронов, освобождающихся при делении тяжелых ядер, и взрывная ядерная реакция невозможна.

Величина критической массы зависит также от плотности делящегося вещества. Отмечается, что для критической массы линейный размер должен быть сравним со средней длиной свободного пробега нейтрона, которая обратно пропорциональна количеству ядер в единице объема делящегося вещества. Переходя от линейных размеров к массе, можно убедиться, что величина критической массы заряда без отражателя, приближенно обратно пропорциональна квадрату плотности делящегося вещества. Это значит, что если плотность вещества увеличить в два раза, то критическая масса уменьшается в четыре раза.

Наоборот, если делящееся вещество, масса которого больше критической, подвергнуть расширению (что в действительности и происходит при повышении температуры и давления в процессе реакции деления), то произойдет уменьшение плотности, масса его станет докритической, и начавшаяся цепная реакция прекратится. Цепная реакция замедляется также продуктами деления, из них многие обладают способностью сильно поглощать нейтроны. В каждом ядерном боеприпасе неизбежно пропадает (не участвует в цепной реакции) некоторое количество делящегося материала. Из этого следует, что ядерные боеприпасы малого калибра менее экономичны в использовании делящегося материала, чем крупного калибра.

Вот почему первоначальное количество делящегося материала, необходимое для осуществления ядерного взрыва, должно заметно превышать критическую массу. Чтобы повысить степень использования делящегося ма-

териала, можно воспользоваться зависимостью критической массы от плотности. Этого можно достичь, если в начальный период реакции деления ядерный заряд подвергнуть интенсивному сжатию.

В иностранной литературе отмечается, что при взрыве сферической оболочки из обычного взрывчатого вещества, внутри которой размещается ядерный заряд (взрыва, направленного внутрь), создается давление порядка 10^6 атм, а плотность урана может возрасти примерно в 2 раза. Такой принцип получения критической массы в литературе получил название принципа имплозии. Отмечается, что именно так удалось повысить количество материала, участвующего в цепной реакции деления, до 20% и более, вместо 2—5% в первых атомных зарядах.

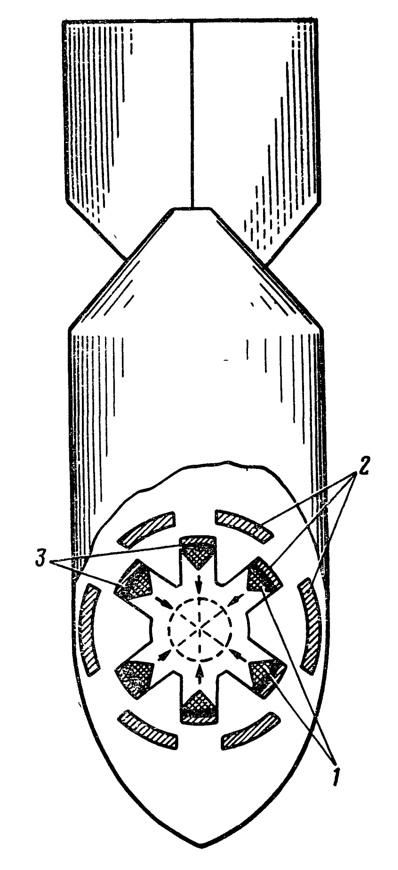


Рис. 14, *а* — принципиальная схема устройства атомной бомбы:

1 — уран или плутоний; 2 — обычное взрывчатое вещество; 3 — отражатель нейтронов

Величина критической массы для материала заряда зависит также от его способности делиться нейтронами различных энергий. Указывается, что у урана-233 и плутония она выше, чем у урана-235, поэтому критическая масса заряда из урана-233 и плутония меньше, чем у урана-235.

Атомный взрыв осуществляют путем перевода заряда из докритического состояния в критическое, точнее, в сверхкритическое. Один из вариантов схемы устройства атомного заряда можно представить себе сле-

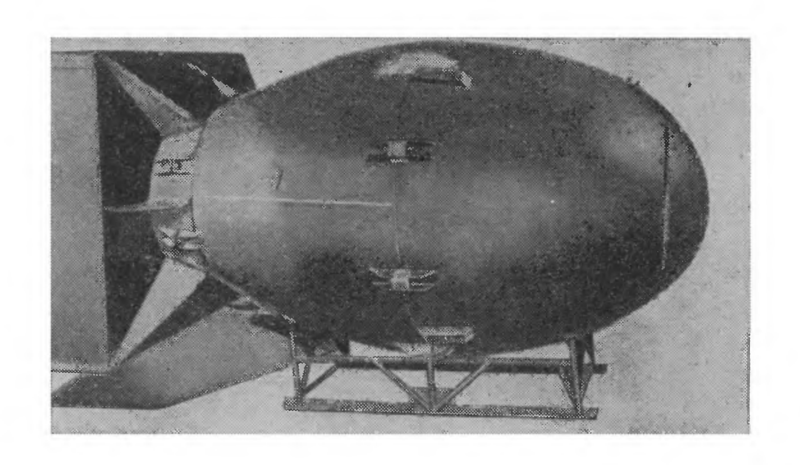


Рис. 14, *б* — внешний вид американской атомной бомбы, сброшенной 6 августа 1945 г. на японский город Хиросима

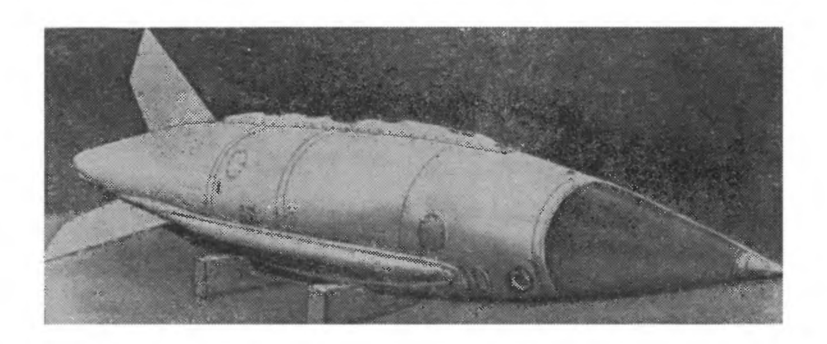


Рис. 14, *в* — французская ядерная бомба

дующим образом. До момента взрыва общий заряд может быть разделен на две или более частей; величина каждой части меньше критической, что исключает преждевременный взрыв каждой из них в отдельности. Чтобы осуществить взрыв, соединяют все части заряда в одно целое. Сближение частей должно происходить очень быстро, чтобы за счет энергии, выделяемой в начале ядерной реакции, не успели бы разлететься еще

не прореагировавшие части заряда. От этого зависит количество разделившихся ядер в цепной ядерной реакции, а следовательно, и мощность взрыва. При сближении масс ядерного заряда цепная реакция начинается не в момент их соприкосновения, а когда они еще разделены небольшим промежутком. При медленном сближении масс из-за перегрева они могут разрушиться и разлететься в разные стороны; заряд разрушится не взорвавшись. Поэтому сокращают период сближения, сообщая большую скорость соединяющимся массам. Для соединения частей заряда можно использовать действие взрыва обычного взрывчатого вещества. Чтобы увеличить степень использования делящегося вещества при атомном взрыве, его окружают отражателем нейтронов и помещают в оболочку из плотного материала.

Принципиальная схема устройства атомного заряда приведена на рис. 14, *а*. Здесь заряд из урана или плутония разделен на несколько частей. При взрыве обычного взрывчатого вещества (ВВ) все части устремляются к центру и образуют заряд со сверхкритической массой, окруженный отражателем и массивной металлической оболочкой. Происходит атомный взрыв. Могут быть применены и другие методы образования критической массы, например, путем обжатия тонкой сферической оболочки из урана или плутония в шар. Как, по мнению иностранных специалистов, это можно осуществить? Вокруг тонкой урановой или плутониевой сферической оболочки размещается обычное взрывчатое вещество, в нужный момент оно подрывается. От действия газов урановая или плутониевая оболочка сжимается в шар, образуя сверхкритическую массу. В массе начинается цепная реакция, и завершается она взрывом делящегося материала.

Для безотказности действия атомного заряда, ускорения развития цепной ядерной реакции и повышения коэффициента использования ядерного горючего в бомбах обычно применяют искусственные источники нейтронов. Источники нейтронов включают в момент соединения частей заряда (образования сверхкритической массы) и интенсивно облучают их нейтронами.

Энергия взрыва атомных зарядов (основанных на делении ядер) может быть самой различной. По сообщению иностранной печати, их тротиловый эквивалент

колеблется в пределах от десятков тонн до 500 тыс. т. Нижний предел, как отмечается, определяется коэффициентом использования делящегося вещества; у зарядов с малым тротиловым эквивалентом он слишком мал, верхний же предел тем, что нельзя беспредельно увеличивать вес отдельных частей заряда, так как их масса должна быть заведомо меньше критической. Если идти по пути увеличения количества частей ядерного заряда, то возникнут большие трудности в получении одновременного соединения отдельных частей в единое целое.

4. ПРИНЦИПЫ УСТРОЙСТВА ТЕРМОЯДЕРНЫХ ЗАРЯДОВ. Ядерное оружие наиболее крупных калибров создают путем термоядерных реакций. В основу этого оружия положено образование (синтез) ядер атомов гелия из ядер изотопов водорода и лития.

В настоящее время известно несколько возможных реакций синтеза. По данным иностранной печати, при выборе той или иной из них обычно учитывают температуру, при которой протекает реакция, продолжительность и ее энергетический выход, агрегатное состояние заряда перед реакцией (жидкое, твердое) и другие факторы.

По мнению иностранных военных специалистов, в термоядерных зарядах, по-видимому, наиболее целесообразно для синтеза ядра гелия воспользоваться ядром тяжелого водорода (дейтерия) и ядром сверхтяжелого водорода (трития). Реакция в смеси дейтерия с тритием при одних и тех же температурах и плотностях смеси идет наиболее быстро. При этом выделяется примерно в пять раз больше энергии, чем при реакции в одном дейтерии. Кроме того, в смеси дейтерия и трития выделяются свободные нейтроны высокой энергии, которые можно использовать для увеличения силы взрыва термоядерного заряда.

Рассмотрим основные условия для образования ядер гелия из ядер дейтерия и трития. Если ядра дейтерия и трития сблизить до расстояний, равных размерам самих атомных ядер, то они попадут в сферу действия мощных ядерных сил, которые и соединят частицы в устойчивую систему — ядро атома гелия.

Ядерная энергия, высвобождающаяся при этом, выделяется в виде кинетической энергии образующихся ядер гелия и нейтронов.

Для сближения ядер нужно затратить большую энергию, чтобы преодолеть электрические силы взаимного отталкивания электронных оболочек, а затем еще более мощные электростатические силы взаимного отталкивания самих ядер. Однако как только ядра атомов тесно сблизятся друг с другом, ядерные силы совершают значительную работу. Выделившаяся при этом энергия гораздо больше той, которую затрачивают на преодоление электростатичеких сил отталкивания. Начавшаяся в веществе реакция соединения ядер дейтерия и трития в дальнейшем может быть поддержана и даже ускорена за счет избыточной энергии, освобождающейся при синтезе предыдущих ядер. При больших скоростях ядерных превращений такая реакция, так же как и при делении тяжелых ядер, приобретает характер взрыва.

Но откуда взять энергию для преодоления электростатических сил? Ее получают путем предварительного очень сильного нагревания изотопов водорода до десятка миллионов градусов. При таком нагревании их атомы теряют свои электронные оболочки при первых же столкновениях с другими атомами. Вещество оказывается состоящим из «оголенных» ядер и движущихся независимо от них электронов. Такое вещество называют плазмой. Скорость теплового движения частиц достигает таких величин, что ядра водорода могут сближаться и соединяться друг с другом. Ядерные реакции от сильного нагревания вещества называются термоядерными. Они протекают при сверхвысоких температурах и давлениях.

Скорость термоядерных реакций очень чувствительна к температуре. Например, реакция слияния трития и дейтерия по сравнению со всеми другими термоядерными реакциями приобретает большую скорость уже при температуре 1 млн. градусов. Однако если повысить температуру от 1 до 2 млн. градусов, то скорость реакции возрастет в несколько тысяч раз.

При температуре 2 млн. градусов скорость выделения энергии достигает величины порядка 10^{10} кал/сек на 1 г смеси. У ядер водорода наименьший заряд, а у других элементов ядра имеют больший заряд. И чем больше заряд, тем большая энергия нужна для преодоления электростатических сил отталкивания. Для образования ядер из других легких элементов необходимы

еще более высокие температуры и давление. Вот почему водород — наиболее удобное вещество для термоядерной реакции.

Для протекания термоядерной реакции изотопы водорода нагревают до температуры в несколько миллионов градусов. Такая высокая температура возникает при взрыве уранового или плутониевого заряда. Поэтому обычный атомный заряд (атомный детонатор) — составная часть термоядерных зарядов и служит источником сверхвысокой температуры. Для термоядерной части заряда используют дейтерид лития. Дейтерид лития — легкое твердое вещество. Некоторая часть термоядерного заряда может состоять также из соединения сверхтяжелого водорода (трития) с литием.

Соединения изотопов водорода с литием называют гидридами лития. Гидрид лития при хранении не нуждается ни в каком охлаждении.

Термоядерная реакция в гидриде лития имеет сложный характер. Как указывается в иностранной печати, литий, введенный в состав заряда, под действием нейтронов, освобождаемых при взрыве атомного детонатора, частично превращается в тритий, а он вступает в реакцию с дейтерием. Отмечается, что для начала термоядерной реакции смесь термоядерного заряда сама может содержать небольшое количество трития. После начала реакции синтеза нейтроны, необходимые для получения трития из лития, образуются при слиянии ядер дейтерия и трития в ядро гелия. Кроме того, высокая температура, возникающая при взрыве атомного детонатора, может обеспечить непосредственное протекание термоядерной реакции между дейтерием и литием, а также между тритием и литием.

Когда термоядерная реакция уже началась, она может быть поддержана и даже ускорена с помощью тепла, выделяющегося при самой реакции.

При образовании ядер гелия из ядер дейтерия и трития вылетают быстрые нейтроны. Поэтому из зоны термоядерной реакции выбрасывается огромное количество быстрых нейтронов с энергией около 14 Мэв. По данным иностранной печати, эти нейтроны можно использовать для увеличения мощности взрыва, если в состав термоядерного заряда ввести оболочку из природного урана-238.

Возможная схема такого заряда показана на рис. 15а. Заряд основан на схеме деление — синтез — деление (то есть на трех фазах). Такого рода заряд в иностранной литературе получил название трехфазный, именуемый иногда водородно-урановым зарядом. У этого трехфазного заряда вначале взрывается атомный детонатор (реакция деления). Затем начинается термоядерная реакция в гидриде лития с выделением большого количества быстрых нейтронов (реакция синтеза). Эти нейтроны вызывают расщепление ядер природного урана, из которого изготовлена оболочка (реакция деления).

Указанная схема отличается тем, что мощность заряда может быть во много раз увеличена по сравнению с зарядом, у которого отсутствует урановая оболочка. В иностранной печати отмечалось, что до 90% энергии при взрыве может быть получено от расщепления урана-238. Преимуществом такой схемы считается также и то, что увеличение мощности взрыва происходит за счет относительно дешевого (по сравнению, например, с дейтерием и тритием) вещества природного урана. Он состоит в основном из урана-238 и применяется для оболочки. Это позволяет изменять мощность оружия от нескольких десятков тысяч тонн до нескольких миллионов тонн. Указывается, что при высоте и диаметре заряда 1 м и толщине его урановой оболочки около 5 см вес урана около 3 т. Если при взрыве такого заряда прореагирует только 15% урана-238, около 500 кг, то его тротиловый эквивалент будет 10 млн. т.

Для получения энергии, эквивалентной взрыву 20 млн. т тротила, расщепляют 1000 кг урана-238. В иностранной литературе указывается, что для создания необходимого количества нейтронов с большой энергией потребуется 20 кг смеси дейтерида лития ($_3Li^6{}_1H^2$), при взрыве его освобождается энергия, эквивалентная взрыву 2 млн. т тротила. Итак, уран-238 — основной источник энергии взрыва заряда, основанного на реакции деление — синтез — деление. Отмечается, что применение урановой оболочки позволило создать термоядерные заряды с тротиловым эквивалентом 20 — 50 млн. т.

При испытании подобного типа термоядерных зарядов большое количество радиоактивных веществ заражает атмосферу и может выпадать на землю далеко от

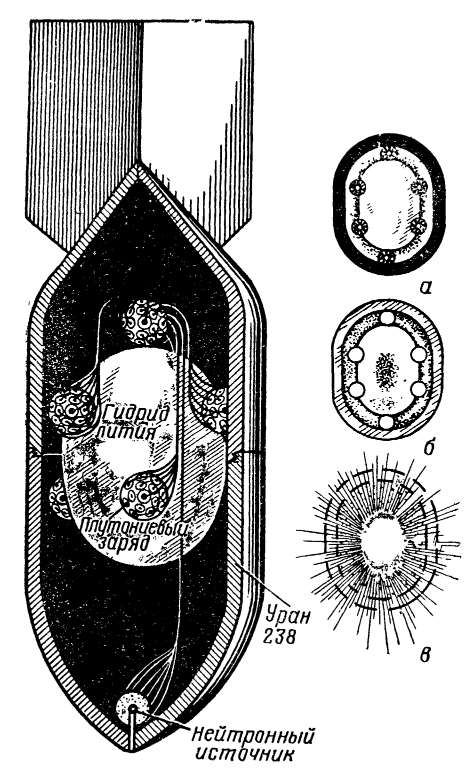


Рис. 15, *а* — принципиальная схема термоядерного заряда, основанного на принципе деление — синтез — деление:

а — первая фаза — взрываются плутониевые заряды; *б* — вторая фаза — происходит термоядерная реакция лития с водородом; *в* — третья фаза — быстрые нейтроны вызывают деление ядер урана-238

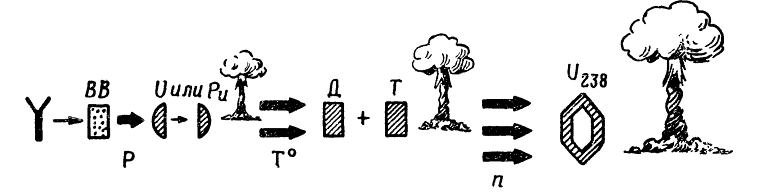


Рис. 15, *б* — схема развития термоядерного взрыва по принципу деление — синтез — деление

района взрыва. Это крайне опасно для настоящего и будущего человечества. Но не об этом думают империалисты. Чтобы увеличить радиоактивное заражение местности при термоядерном взрыве, иностранные военные специалисты предлагают в отдельных случаях оболочку термоядерного заряда делать из веществ, которые под воздействием нейтронов превращаются в радиоактивные. Эти вещества способны на длительное время заразить воздух и всю местность в районе взрыва и по пути движения радиоактивных продуктов.

Мировая общественность обеспокоена судьбой будущих поколений в связи с «загрязнением» атмосферы радиоактивными веществами.

Чтобы отвлечь внимание мировой общественности от вопросов, связанных с запрещением ядерного оружия и полным прекращением его испытаний, американские империалистические круги выдвинули идею создания так называемого «чистого» водородного заряда. Американская газета «Вашингтон пост энд таймс геральд» поясняла: «Чистый» заряд — это такой заряд, который, несмотря на то что его разрушительная сила не уменьшается, может быть взорван при некоторых условиях таким образом, что он не будет распространять стронций-90, который при обычном водородном взрыве отравлял бы земную атмосферу».

Некоторые иностранные авторы, комментировавшие заявление американской прессы, останавливались на вопросе: насколько реальна идея создания «чистого» водородного заряда в полном смысле этого слова? Ответ был один: «чистых» зарядов принципиально быть не может, поскольку не может быть ядерного взрыва без появления нейтронов, а захват нейтронов воздухом и землей (водой) создает радиоактивную «грязь». Уменьшить же радиоактивность взрыва до некоторой степени можно, например, исключением из конструкции зарядов урана-238 и уменьшением атомного детонатора.

5. ЯДЕРНЫЕ БОЕПРИПАСЫ И ИХ ТРОТИЛОВЫЕ ЭКВИВАЛЕНТЫ. Разнообразие устройства и калибров ядерных зарядов позволяет использовать их в войне многими способами.

Ядерное оружие может быть применено, во-первых,

для непосредственного воздействия на войска и технику противника на поле боя; во-вторых, для нанесения мощных ударов по важнейшим промышленным, транспортным и политическим центрам противника.

Вот почему иностранные военные специалисты подразделяют ядерное оружие на тактическое и стратегическое.

Тактическое ядерное оружие может быть различных калибров и, по данным зарубежной печати, имеет тротиловые эквиваленты примерно от сотен тысяч до нескольких десятков тонн. Заряды наименьших калибров могут быть применены по переднему краю противника. Они могут применяться также для создания заграждений на суше и для ведения различных взрывных работ в грунтах и горных породах.

По мнению иностранных военных специалистов, очень важен вопрос о способах доставки ядерных зарядов к боевым целям. В тактическом оружии носителями ядерных зарядов могут быть неуправляемые и управляемые реактивные снаряды (ракеты) с разными дальностями стрельбы, самолеты, а также ствольная артиллерия более крупных калибров. Большое значение придается ими использованию ядерных боеприпасов по береговым целям с подводных лодок в надводном и в подводном положении.

Между тактическим и стратегическим оружием нет резкой границы. По мнению иностранных военных специалистов, для стратегических задач могут быть в некоторых условиях применены ядерные заряды, предназначенные для решения тактических. Ядерные боевые части для поражения типовых стратегических целей могут иметь тротиловый эквивалент 1—5 млн. т. Возможно применение и еще более мощных ядерных зарядов с тротиловым эквивалентом до 40—50 млн. т.

Носителями ядерного стратегического оружия, как правило, будут ракеты дальнего действия, межконтинентальные баллистические ракеты, самолеты-снаряды и стратегические бомбардировщики. По мнению иностранных специалистов, наиболее эффективный носитель ядерного оружия при дальности стрельбы более 1000 км — многоступенчатые баллистические ракеты. В иностранной печати появились сообщения о предло-

жениях использовать для применения мощных ядерных зарядов искусственные спутники Земли.

6. ВИДЫ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ И ИХ ПОРАЖАЮЩИЕ ФАКТОРЫ. В зависимости от характера объекта и задач атомного нападения ядерный взрыв может быть произведен в воздухе, у поверхности земли (воды) или под землей (под водой). Вот почему различают воздушный, наземный (надводный) и подземный (подводный) взрывы.

Воздушным ядерным взрывом разрушают городские и промышленные здания, поражают людей и технику на поле боя. Обычно для этих целей его производят на высоте нескольких сотен и тысяч метров над землей в зависимости от величины тротилового эквивалента заряда. Воздушный ядерный взрыв может быть применен для поражения летящих самолетов и самолетов-снарядов. В этом случае взрыв может быть на больших высотах над поверхностью земли и называется высотным ядерным взрывом. Наземным (надводным) взрывом разрушают прочные наземные сооружения, железнодорожные узлы, убежища тяжелого типа, аэродромы, поражают надводные корабли, войска и боевую технику. Взрыв может быть на поверхности земли (воды) или непосредственно у поверхности земли (воды).

По мнению специалистов США, подземный атомный взрыв применяют для разрушения особо прочных подземных сооружений, устройства завалов в горах, разрушения плотин и др. В некоторых случаях наземный или подземный взрыв применяют также для заражения местности в тылу противника.

Подводным ядерным взрывом поражают подводные лодки, надводные корабли и разрушают гидротехнические сооружения (плотины, дамбы).

Явления, наблюдаемые при ядерном взрыве, в значительной мере зависят от вида взрыва. Наиболее изучен воздушный ядерный взрыв. Рассмотрим более подробно явления у этого вида взрыва. В зоне цепной ядерной реакции исключительно высокая концентрация энергии. Температура здесь быстро повышается до нескольких десятков миллионов градусов, а давление — миллиардов атмосфер.

Вот почему к моменту окончания ядерной реакции оболочка бомбы и все другие ее детали испаряются.

Пары оболочки и продукты деления заряда ядерной бомбы, нагретые до миллиона градусов, излучают мягкие рентгеновские лучи. Эти лучи поглощаются слоем окружающего воздуха и нагревают его до нескольких сот тысяч градусов. В месте взрыва появляется ярко светящаяся сферическая область, испускающая в окружающее пространство сильное световое излучение.

Большая часть нейтронов, а также гамма-лучей, испускаемых при делении ядер, поглощается веществом оболочки бомбы. Лишь относительно небольшая доля их проникает в окружающее пространство и распространяется от места взрыва. Такой поток гамма-лучей и нейтронов от места ядерного взрыва называют проникающей радиацией.

У поверхности светящейся области наблюдается очень резкий перепад температуры и давления. Вследствие резкого перепада давления раскаленные газы начинают стремительно расширяться, оттесняя окружающий место взрыва слой воздуха и сжимая его. Сжатие передается от одного слоя воздуха к другому и в виде ударной волны распространяется на значительные расстояния от места взрыва ядерной бомбы.

На близких расстояниях от места взрыва фронт (передняя граница) ударной волны одновременно и поверхность светящейся области. Она испускает в окружающее пространство мощное световое излучение. Раскаленные продукты взрыва в центральной части светящейся области — источник интенсивного гамма-излучения, испускаемого в процессе распада радиоактивных продуктов деления.

По мере удаления ударной волны от центра взрыва температура воздуха на ее фронте уменьшается и наконец становится такой, что свечение воздуха прекращается, фронт становится прозрачным. После этого источник светового излучения — поверхность раскаленных газов в районе центра взрыва. Радиус светящейся области из раскаленных газов быстро увеличивается. При дальнейшем сравнительно медленном увеличении размеров светящейся области температура ее поверхности падает и мощность светового излучения уменьшается. Действие светового излучения для взрывов в несколько десятков тыс. тонн прекращается примерно через 2—3 сек. после взрыва.

Плотность газов в светящейся области из-за высокой температуры ниже плотности окружающего ее воздуха. Поэтому светящаяся область всплывает быстро вверх, подобно воздушному шару.

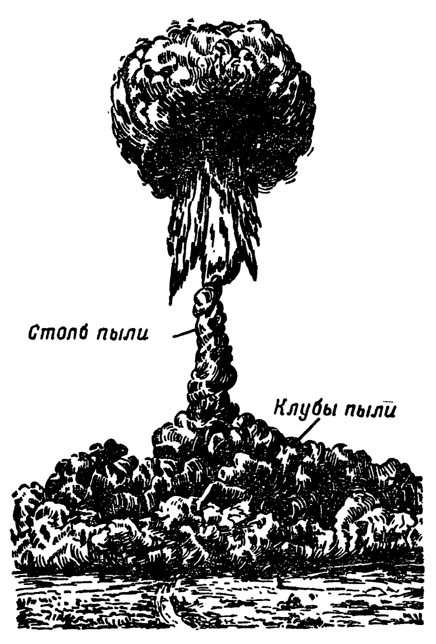


Рис. 16. Грибовидное облако ядерного взрыва

При подъеме создается восходящий поток воздуха. Он увлекает с собой пыль, поднятую с поверхности земли действием ударной волны. В районе эпицентра взрыва[1] возникает столб пыли, быстро поднимающийся вверх. Столб пыли, поднимающийся с земли, продолжает быстро расти и образует характерную для ядерного взрыва грибообразную форму (рис. 16).

Примерно через 10—12 мин. радиоактивное облако при взрыве бомбы среднего калибра поднимается на

[1] Эпицентром взрыва называется точка на поверхности земли, расположенная под центром взрыва.

высоту 10—15 км. При этом размеры его в поперечнике увеличиваются до нескольких километров. Затем оно постепенно утрачивает свою характерную форму и, двигаясь в направлении ветра, рассеивается. Часть радиоактивных продуктов оседает на поверхности земли в районе взрыва и по пути движения радиоактивного облака, вызывая заражение местности радиоактивными веществами.

Размеры облака ядерного взрыва, а также скорость и высота его подъема тем больше, чем мощнее взрыв. Если воздушный взрыв произошел на большой высоте, то столб пыли может не соединиться с клубящимся облаком.

При наземном ядерном взрыве светящаяся область формы полусферы. В месте соприкосновения светящейся области с поверхностью земли верхний слой земли оплавляется, превращаясь при остывании в шлак.

Интенсивность светового излучения при наземном взрыве меньше, чем при воздушном, светящаяся полусфера частично экранируется пылью, поднятой ударной волной. Пыль и двуокись азота придают облаку бурый оттенок. Количество пыли в облаке зависит от того, на какой высоте происходил взрыв ядерной бомбы. Если огненный шар касается земли, то много грунта испаряется и уносится вместе с ним.

Некоторая часть радиоактивных продуктов взрыва при наземном взрыве смешивается с расплавленным грунтом, превращаясь в радиоактивный шлак, а также оседает на поверхность земли. Это приводит к более сильному заражению местности в районе взрыва по сравнению с воздушным взрывом. В месте наземного взрыва образуется воронка.

При подземном ядерном взрыве сильно нагретые газообразные продукты взрыва, расширяясь, создают огромное давление на грунт. Это приводит к образованию в грунте сильной ударной волны и сейсмовзрывных волн. Распространяясь по грунту, они вызывают в нем колебания, напоминающие сейсмические волны при землетрясениях.

При подземном взрыве образуется большая воронка, размеры ее зависят от мощности заряда, глубины взрыва и типа грунта. Выброшенный из воронки грунт (рис. 17), перемешиваясь с радиоактивными продуктами

взрыва, оседает на землю в районе воронки и за ее пределами. При подземном взрыве радиоактивное заражение местности значительно сильнее, чем после воздушного или наземного взрыва, а площадь заражения меньше.

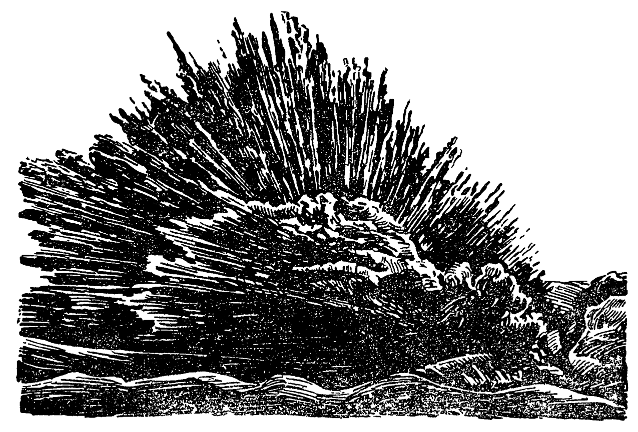


Рис. 17. Подземный взрыв

Проникающая радиация, и в особенности световое излучение, при подземном взрыве значительно слабее, чем воздушном или наземном.

При подводном ядерном взрыве раскаленные продукты взрыва образуют в воде светящуюся область. В месте взрыва на поверхности воды наблюдается ярко освещенное пятно. Тепловая энергия, излучаемая светящейся областью, расходуется в основном на испарение и нагревание воды в зоне взрыва.

Из-за резкого расширения продуктов взрыва и паров воды образуется мощная ударная волна в воде. При подводном ядерном взрыве средней мощности на небольшой глубине над поверхностью воды поднимается столб воды высотой более километра. Над столбом воды образуется облако главным образом из паров воды. Оно увеличивается в размерах и достигает нескольких километров в диаметре (рис. 18). Через несколько секунд после подводного взрыва начинается падение воды из столба. У основания столба образуется огромное облако из мелких капель (брызг). По мере падения масс воды облако

(его иногда называют базисной волной) распространяется в стороны и за несколько минут поднимается на значительную высоту. Скорость распространения облака в первое время достигает нескольких десятков метров в секунду, а затем быстро падает. Далее движение облака в стороны прекращается. Из облака выпадает радиоактивный дождь.

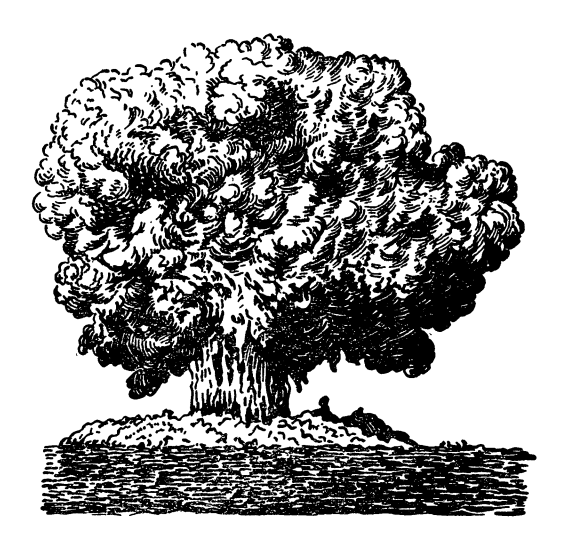


Рис. 18. Внешняя картина подводного ядерного взрыва

При подводном взрыве также образуются гравитационные волны на поверхности воды. На малом расстоянии от места взрыва высота этих волн 20—30 м. По мере удаления от места взрыва высота волн быстро уменьшается, и на расстоянии 10 км она 2—4 м. Если подводный взрыв производится в неглубоком водоеме, то на дне его образуется большая воронка, в воздух вместе с водой поднимается значительное количество грунта.

Итак, при ядерном взрыве образуется мощная ударная волна, испускается интенсивное световое излучение, гамма-излучение и поток нейтронов, а также радиоактивное заражение местности. В связи с этим разли-

чают такие поражающие факторы атомного взрыва: ударную волну, световое излучение, проникающую радиацию и радиоактивное заражение местности.

Расскажем о высотном и космическом взрывах. Внешняя картина высотного ядерного взрыва напоминает воздушный. В чем же отличие? В том, что с земли не поднимается столб пыли. При взрыве наблюдается огненный шар и клубящееся (кольцевое) облако.

Управление летящим самолетом при высотном взрыве может нарушиться из-за гибели его экипажа. Конструкция самолета может разрушиться под действием ударной волны и светового излучения, экипаж может погибнуть от действия проникающей радиации. Итак, ударная волна, световое излучение и проникающая радиация будут поражающими факторами высотного атомного взрыва.

Космический ядерный взрыв происходит на такой высоте, где плотность воздуха практически равна нулю. В этом случае энергия взрыва сосредоточена в том веществе, из которого состоит ядерный заряд и связанные с ним устройства, например ракета-носитель. Все это вещество разогревается до очень высокой температуры, испаряется и превращается в сильно ионизированный газ, плазму.

При космическом взрыве в отличие от всех видов взрыва значительная часть энергии излучается в окружающее пространство в виде световых, ультрафиолетовых и мягких рентгеновских лучей. Последние два вида излучения при наземном, воздушном и высотном взрывах поглощаются воздухом, окружающим место взрыва. Воздействуя на летящий объект, все эти виды излучения будут им поглощаться и разогревать его до высокой температуры. Поскольку космический взрыв происходит в безвоздушном пространстве, то при этом ударной волны не образуется. Поражающие факторы при космическом ядерном взрыве — излучения в широком диапазоне длин волн с наибольшей интенсивностью в области коротких длин волн.

Мы рассказали о высотном и космическом ядерном взрыве. В следующей главе читатель познакомится с основным поражающим фактором ракетно-ядерного оружия — ударной волной.

III. УДАРНАЯ ВОЛНА

1. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПРИ ВЗРЫВЕ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ. При ядерном взрыве в очень короткое время (миллионные доли секунды) в небольшом объеме заряда освобождается колоссальное количество внутриядерной энергии, преобразующейся в энергию поражающих факторов. Как это происходит?

В процессе взрывной ядерной реакции внутриядерная энергия освобождается в форме кинетической энергии осколков деления, движущихся с огромными скоростями, и энергии их возбуждения, а также в виде энергии нейтронов и гамма-излучения. На своем пути осколки деления сталкиваются с неразделившимися ядрами атомов вещества заряда и передают им большую часть своей энергии. Следовательно, кинетическая энергия осколков почти мгновенно переходит в энергию теплового движения всей массы вещества заряда. Почти полностью в тепло переходит и энергия нейтронов и гамма-излучения.

Под воздействием осколков деления, нейтронов и гамма-лучей атомы непрореагировавшей части заряда сильно ионизируются. В зоне реакции образуются положительные ионы и свободные электроны. Но долго существовать ионы не могут. Свободные электроны воссоединяются с положительными ионами, т. е. происходит рекомбинация атомов. Она сопровождается испусканием светового и рентгеновского излучений. Энергия этих излучений также в значительной части расходуется на нагревание вещества в зоне реакции.

Итак, почти вся энергия, освобождающаяся при взрывной ядерной реакции, преобразуется в тепло. Температура в зоне реакции повышается до десятков миллионов градусов. При такой высокой температуре продукты деления, непрореагировавшая часть вещества заряда и его корпус мгновенно испаряются и превращаются в раскаленный сильно ионизированный газ.

Из зоны взрыва исходит мощный поток рентгеновского и светового излучений. Под действием его окружающий воздух практически мгновенно прогревается от слоя к слою до температуры, измеряемой десятками и даже сотнями тысяч градусов. Сферическая область раскаленного воздуха быстро увеличивается. Раскаленные

пары, газы и воздух образуют светящуюся область ядерного взрыва, называемую огненным шаром.

В ограниченном объеме, занимаемом веществом заряда, выделяется колоссальная энергия, а общее количество частиц увеличивается примерно в 200 раз. В зоне реакции создается не только исключительно высокая температура, но и огромное давление в миллиарды атмосфер. Такая разница в давлении внутри области взрыва и в окружающем воздухе приводит к тому, что раскаленные пары и газы с огромной скоростью расширяются. При этом они сжимают и приводят в движение окружающий воздух. Сжатие и перемещение воздуха распространяется со сверхзвуковой скоростью от одного слоя к другому во все стороны от центра взрыва. Возникает ударная волна ядерного взрыва, подобная ударной волне при обычном взрыве.

Итак, ударная волна — это область сжатия с резким скачком давления, плотности и температуры на переднем фронте, распространяющаяся со сверхзвуковой скоростью.

2. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЕ. Ударные волны возникают при взрыве и могут распространяться в любых средах: воздухе, воде, грунте, бетоне, металле и пр. В зависимости от того, в какой среде произошел взрыв, возникающую при этом волну называют воздушной ударной волной, ударной волной в воде, волной сжатия в грунте.

На рис. 19 показано изменение давления воздуха с расстоянием от центра взрыва.

В начальный момент взрыва (рис. 19, *а*) вокруг центра взрыва образуется сферическая область, внутри ее давление воздуха значительно больше атмосферного. Далее (рис. 19, *б*), повышенное давление сохраняется лишь в наружном сферическом слое, а вблизи центра взрыва оно меньше атмосферного. Наконец, еще позже (рис. 19, *в*) давление воздуха вблизи центра взрыва снова становится равным атмосферному.

В зоне сжатия ударной волны давление выше атмосферного, в зоне разрежения — ниже. Наибольшее давление воздуха наблюдается непосредственно на внешней границе зоны сжатия — во фронте волны. В зоне

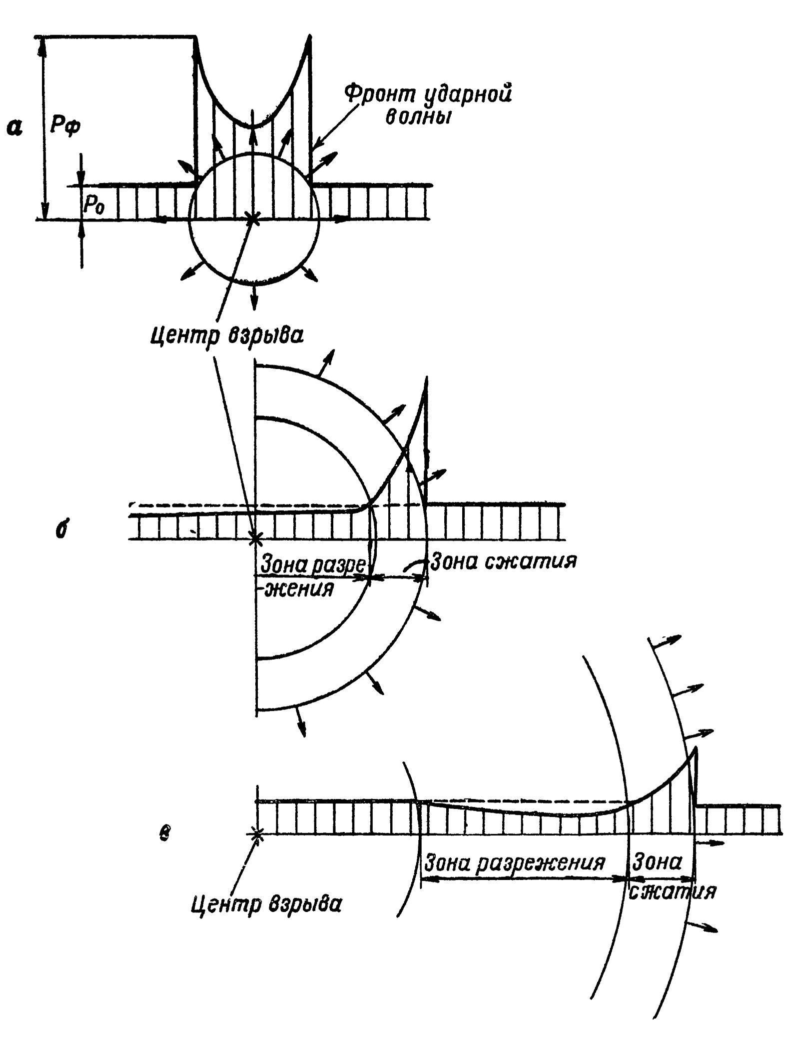


Рис. 19. Распределение давления в ударной волне в различные моменты после взрыва

сжатия воздух движется в направлении от центра взрыва, а в зоне разрежения — наоборот, к центру взрыва.

Изменение давления в какой-либо фиксированной точке пространства при прохождении через нее ударной

волны показано на рис. 20. Как видно из этого рисунка, в момент, когда в эту точку пространства приходит фронт ударной волны, наблюдается мгновенное повышение давления от нормального p_0 до максимального $p_ф$. Полное давление воздуха во фронте волны обозначается символом $p_ф$, а разница между этим давлением и атмосферным давлением p_0 — символом $\Delta p_ф = p_ф - p_0$, называемым избыточным давлением во фронте волны и являющимся основным параметром ударной волны.

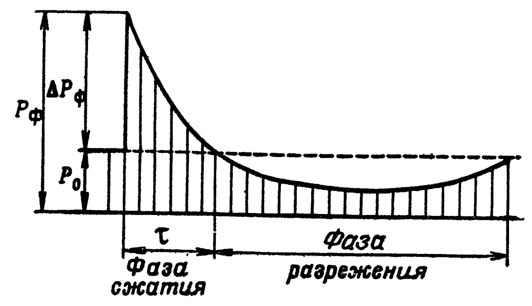


Рис. 20. Изменение давления в какой-либо фиксированной точке пространства при прохождении через нее ударной волны

Избыточное давление $\Delta p_ф$ для ядерного взрыва в воздухе на достаточно большой высоте (где исключается влияние отражающего действия земной поверхности на значение параметров воздушной ударной волны) определяют по формуле

$$\Delta p_ф = 0{,}84 \frac{\sqrt[3]{q_{ув}}}{R} + 2{,}7 \frac{\sqrt[3]{q^2_{ув}}}{R^2} + 7 \frac{q_{ув}}{R^3}.$$

Здесь $\Delta p_ф$ — в кг/см²; $q_{ув}$ — тротиловый эквивалент ядерного взрыва по ударной волне в кг и равен $q_{ув} = 0{,}5q$, где q — тротиловый эквивалент ядерного взрыва; R — расстояние в м от центра взрыва.

При наземном взрыве продукты взрыва отражаются от земной поверхности и энергия взрыва распределяется не в сфере, как при воздушном взрыве, а в полусфере. Наземный взрыв по параметрам ударной волны эквивалентен воздушному взрыву с удвоенным зарядом.

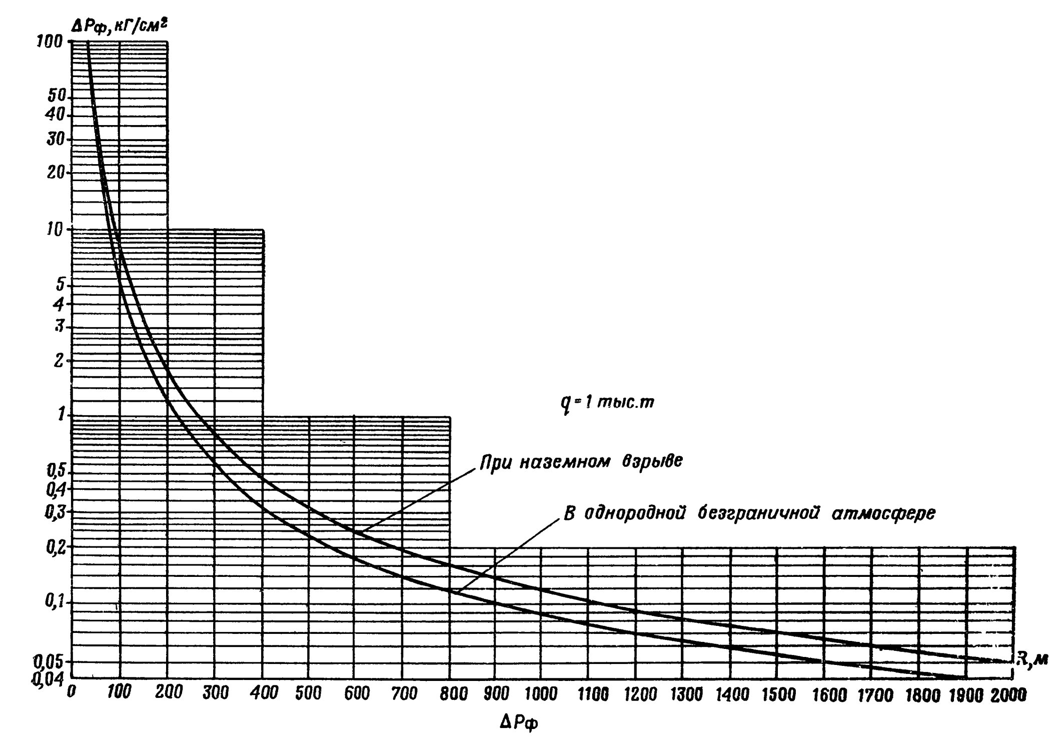


Рис. 21. График изменения избыточного давления во фронте ударной волны

Поэтому в последней формуле для определения избыточного давления при наземном взрыве вместо величины $q_{ув}$ нужно подставить удвоенное ее значение, и формула примет вид

$$\Delta p_{ф} = 1{,}07 \frac{\sqrt[3]{q_{ув}}}{R} + 4{,}2 \frac{\sqrt[3]{q^2_{ув}}}{R^2} + 14 \frac{q_{ув}}{R^3}.$$

На рис. 21 приведены графики изменения избыточного давления во фронте ударной волны в зависимости от расстояния до центра взрыва мощностью $q = 1$ тыс. т в однородной безграничной атмосфере и при наземном взрыве. Кривые построены по вышеприведенным формулам.

Другой параметр ударной волны время τ действия ударной волны, т. е. время действия избыточного давления (см. рис. 20). Величина τ зависит от двух факторов — от расстояния R между точкой, в которой определяется время действия ударной волны, и центром взрыва и от мощности взрыва. Величина τ может определяться по формуле

$$\tau = 1{,}3 \cdot 10^{-3} \sqrt[3]{q_{ув}} \cdot \sqrt{R}.$$

Здесь τ — в секундах, $q_{ув}$ — в килограммах, R — в метрах. Значение τ можно определять также по графику на рис. 22.

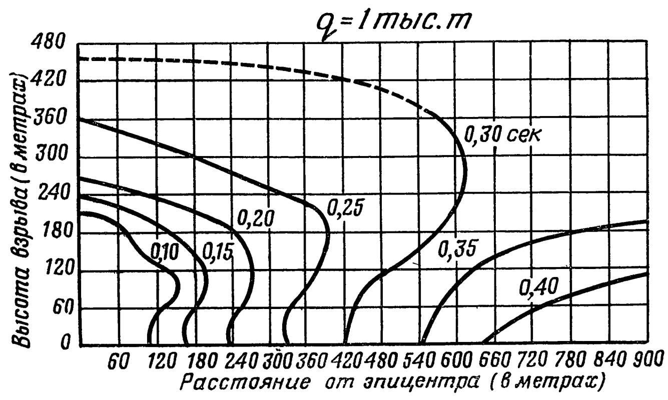


Рис. 22. Продолжительность фазы сжатия на поверхности земли при ядерном взрыве мощностью 1 тыс. тонн

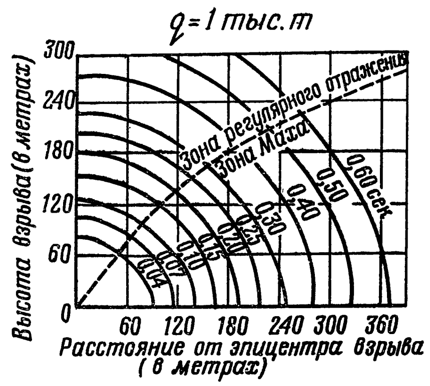


Рис. 23. Время прихода фронта ударной волны при ядерном взрыве мощностью 1 тыс. т (начальный период)

При оценке поражающего действия ударной волны важно знать время Θ прихода ударной волны в заданную точку. На рис. 23 и рис. 24 приведены графики для определения времени прихода фронта ударной волны при ядерном взрыве мощностью 1 тыс. т. Эти графики позволяют оценивать величину Θ в зависимости от высот взрыва.

Закон подобия. В целом закономерности, определяющие развитие взрыва и его различные действия, сложны и разнообразны. Однако есть очень простой и проверенный на практике способ решения многих задач в области взрыва. Он значительно облегчает расчеты избыточного давления волны, радиусов разрушающего действия и многих других величин. Этот способ основывается на законе подобия для взрывов.

Согласно закону подобия, расстояние от места взрыва до точки с заданными параметрами на фронте воздушной ударной волны пропорционально корню кубическому из тротилового эквивалента.

Иначе говоря, если R_1 — расстояние от центра взрыва с тротиловым эквивалентом q_1, то при взрыве заряда с тротиловым эквивалентом q_2, одинаковые величины избыточ-

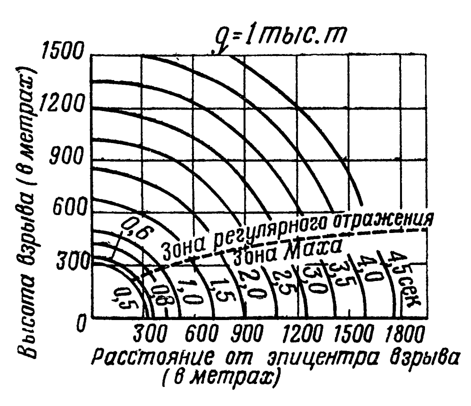


Рис. 24. Время прихода фронта ударной волны при ядерном взрыве мощностью 1 тыс. т (поздний период)

ного давления $\Delta p_ф$, а также всех остальных параметров волны будут на расстоянии R_2, определяемом из выражения

$$\frac{R_1}{R_2} = \sqrt[3]{\frac{q_1}{q_2}}.$$

В качестве эталонного взрыва удобно взять взрыв мощностью в тысячу тонн, при котором $q_1 = 1$ тыс. т.

Времена прихода фронта волны Θ, длительности фаз сжатия τ_+ и разрежения τ_- на расстояниях R_1 и R_2, удовлетворяющих последнему соотношению, находятся в зависимости

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{\tau_1}{\tau_2} = \sqrt[3]{\frac{q_1}{q_2}}.$$

При сравнении воздушных взрывов различной мощности вводят приведенную высоту $H_{пр}$ взрыва, определяемую выражением

$$H_{пр} = \frac{H_ч}{\sqrt[3]{q}},$$

где $H_ч$ — действительная высота взрыва.

Примеры использования закона подобия при взрывах приводятся ниже, где построены типовые кривые для параметров ударной волны взрыва мощностью $q = 1$ тыс. т.

Для взрывов с тротиловым эквивалентом, отличным от 1 тыс. т, расстояние, на котором наблюдаются такие же явления, как и для $q = 1$ тыс. тонн, максимальное избыточное давление по закону подобия определяется из соотношения

$$R = R_1 \cdot q^{1/3},$$

где R_1 — расстояние от центра ядерного взрыва мощностью 1 тыс. т, а R — расстояние от центра взрыва мощностью q тыс. т.

Пример. Найти расстояние, на котором будет наблюдаться избыточное давление в 0,14 кг/см² при воздушном ядерном взрыве мощностью 1 млн. т.

Решение. Находим, что корень кубический из 1000 равен 10. Из рис. 21 устанавливаем, что при воз-

душном взрыве мощностью 1 тыс. т максимальное избыточное давление в 0,14 кг/см² будет наблюдаться на расстоянии 700 *м*. Поэтому для взрыва мощностью 1 млн. т

$$R = 700 \cdot 10 = 7000 \text{ м}.$$

Кривые на рис. 25, 26 показывают изменение максимального избыточного давления в зависимости от рас-

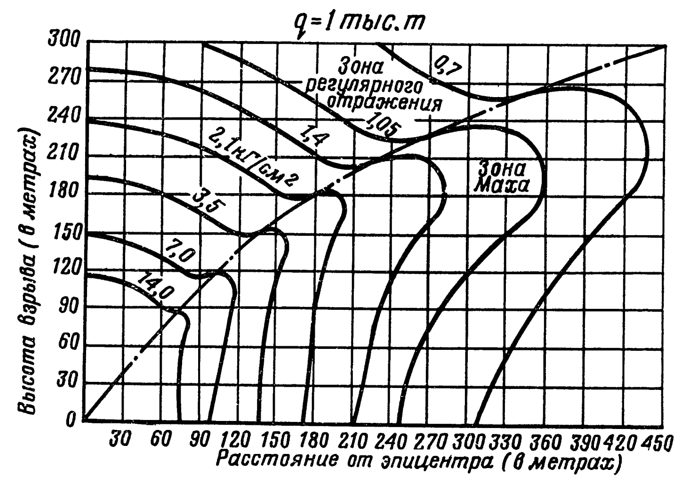


Рис. 25. Кривые равных избыточных давлений (изобары) на поверхности земли при ядерном взрыве мощностью 1 тыс. т (диапазон больших величин давления)

стояния от эпицентра и высоты взрыва при ядерном взрыве мощностью 1 тыс. т в однородной атмосфере.

Высота взрыва H и расстояние R от эпицентра взрыва мощностью q, на котором наблюдается такое же максимальное избыточное давление, как и для $q = 1$ тыс. т, определяются из соотношения

$$\frac{R}{R_1} = \frac{H}{H_1} = q^{1/3},$$

где R_1 и H_1 являются соответственно расстоянием от эпицентра и высотой ядерного взрыва мощностью 1 тыс. т, а R и H — соответствующее расстояние от эпицентра и высота взрыва мощностью q т.

Пример. Найти расстояние, на котором будет наблюдаться максимальное избыточное давление в

3,5 кг/см² при взрыве мощностью $q = 80$ тыс. т на высоте 785 м.

Решение. Высота взрыва мощностью 1 тыс. тонн равняется

$$H_1 = \frac{H}{q^{1/3}} = \frac{785}{80^{1/3}} = 182 \text{ м}.$$

Из рис. 25 видно, что избыточное давление 3,5 *кг/см²* при взрыве мощностью 1 тыс. т на высоте 182 м будет

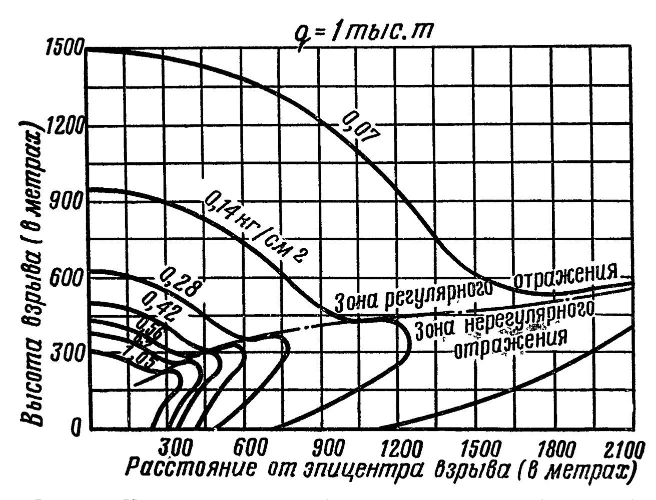


Рис. 26. Кривые равных избыточных давлений (изобары) на поверхности земли при ядерном взрыве мощностью 1 тыс. т (диапазон малых величин давления)

действовать на расстоянии $R_1 = 60$ *м*. Соответствующее расстояние для взрыва мощностью 80 тыс. т равняется

$$R = R_1 \cdot q^{1/3} = 60 \cdot 80^{1/3} = 258 \text{ м}.$$

Кривые на рис. 22 показывают продолжительность τ фазы сжатия ударной волны в зависимости от расстояния R от эпицентра и высоты H при ядерном взрыве мощностью 1 тыс. т для однородной атмосферы.

Согласно закону подобия

$$\frac{R}{R_1} = \frac{H}{H_1} = \frac{\tau}{\tau_1} = q^{1/3},$$

где R_1, H_1, τ_1 — соответственно представляют собой расстояние от эпицентра, высоту взрыва и продолжительность фазы сжатия при взрыве мощностью 1 тыс. т.

Пример. Найти продолжительность фазы сжатия на поверхности земли для максимального избыточного давления на расстоянии 1330 м при взрыве мощностью 160 тыс. т на высоте 1000 м.

Решение. Высота для взрыва мощностью 1 тыс. т равняется

$$H_1 = \frac{H}{q^{1/3}} = \frac{1000}{160^{1/3}} = 184 \ м;$$

расстояние от эпицентра

$$R_1 = \frac{R}{q^{1/3}} = \frac{1330}{160^{1/3}} = 246 \ м.$$

Из рис. 22 видно, что продолжительность фазы сжатия при взрыве мощностью 1 тыс. т на расстоянии 246 м от эпицентра и высоте взрыва в 184 м — 0,20 сек. Продолжительность фазы сжатия на расстоянии 1330 м при взрыве 160 тыс. т будет

$$\tau = \tau_1 \cdot q^{1/3} = 0{,}20 \cdot 160^{1/3} = 1 \ сек.$$

Кривые на рис. 23 и 24 показывают зависимость времени прихода ударной волны на поверхности земли от расстояния R от эпицентра и высоты H ядерного взрыва мощностью 1 тыс. т для однородной атмосферы. Согласно закону подобия

$$\frac{R}{R_1} = \frac{H}{H_1} = \frac{\Theta}{\Theta_1} = q^{1/3},$$

где R_1, H_1, Θ_1 — представляют собой соответственно расстояние от эпицентра, высоту взрыва и время прихода ударной волны при взрыве мощностью 1 тыс. т, а R, H, Θ — соответственно расстояние, высоту взрыва и время прихода ударной волны для взрыва мощностью q тыс. т.

Пример. Найти время прихода ударной волны в точку, находящуюся на расстоянии 16 км от эпицентра взрыва мощностью 1 млн. т на высоте 1660 м.

Решение. Высота для взрыва мощностью 1 тыс. т равняется

$$H_1 = \frac{H}{q^{1/3}} = \frac{1660}{1000^{1/3}} = 166 \ м.$$

Расстояние от эпицентра для взрыва мощностью 1 тыс. т равняется

$$R_1 = \frac{R}{q^{1/3}} = \frac{16000}{1000^{1/3}} = 1600 \ м.$$

Из рис. 24 видно, что при высоте 166 м и расстоянии от эпицентра 1600 м время Θ_1 прихода ударной волны при взрыве мощностью 1 тыс. т — 4,0 сек. Время прибытия ударной волны для ядерного взрыва мощностью 1 млн. т будет

$$\Theta = \Theta_1 \cdot q^{1/3} = 4 \cdot 1000^{1/3} = 40 \ сек.$$

3. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УДАРНЫХ ВОЛН С ПРЕГРАДАМИ. Регулярное отражение ударных волн от неподвижных преград. Весьма часто действие воздушной ударной волны происходит в условиях, когда она набегает на какую-либо преграду на пути движения.

Рассмотрим вначале случай, когда поверхность преграды, воспринимающая давление, расположена перпендикулярно к направлению распространения ударной волны (рис. 27, *а*). Такое явление отражения называется регулярным отражением. При подходе ударной волны к поверхности преграды на нее внезапно начинает действовать давление воздуха во фронте ударной волны и давление от резкой остановки движущихся за фронтом ударной волны слоев сжатого воздуха.

У поверхности преграды возникает новый, более сильный, перепад (скачок) давления. Возникает новая отраженная ударная волна, распространяющаяся от преграды навстречу падающей волне. Заметим, что отраженная ударная волна распространяется в массе воздуха, сжатого падающей волной, тогда как падающая ударная волна распространяется в невозмущенной воздушной среде. Поэтому давление на фронте отраженной волны больше давления на фронте падающей.

Увеличение давления ударной волны, набегающей на преграду, получается наибольшим именно в том случае, если преграда расположена перпендикулярно направле-

нию распространения волны. В этом случае скорость движения воздуха за фронтом набегающей ударной волны гасится полностью, воздух у преграды поджимается наиболее интенсивно, чем и объясняется повышение его давления, температуры и плотности.

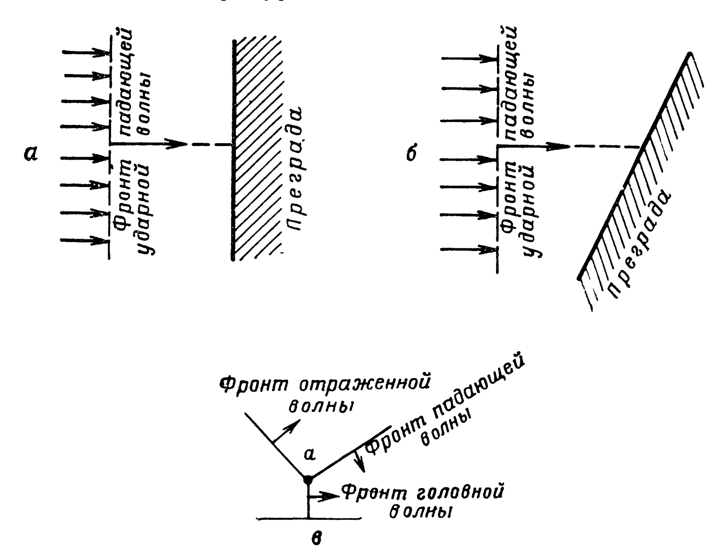


Рис. 27. Схема отражения ударных волн (*а*, *б*, *в*)

Рассчитать избыточное давление, возникающее при прямом ударе воздушной ударной волны о преграду, можно по формуле

$$\Delta p_{отр} = 2\Delta p_{ф} + \frac{6\Delta p_{ф}^2}{\Delta p_{ф} + 7p_o},$$

где $\Delta p_{ф}$ — избыточное давление во фронте прямой (падающей) волны;

p_o — давление атмосферного воздуха;

$\Delta p_{отр}$ — избыточное давление во фронте отраженной волны.

Расчеты и эксперименты показывают, что для сильных ударных волн максимальное повышение давления на фронте отраженной ударной волны по сравнению с давлением на фронте падающей волны равно восьмикрат-

ному, а в некоторых случаях и десятикратному. В случае отражения слабых ударных волн избыточное давление удваивается.

Нерегулярное отражение ударных волн. Уже при регулярном отражении (при $\alpha = 0$) наблюдаются некоторые особенности в движении отраженной ударной волны, которые содержат начало отступлений от правильного, регулярного отражения. Отраженная волна движется частично по воздуху, уже нагретому и уплотненному падающей волной, поэтому скорость распространения отраженной волны увеличивается.

При встрече же ударной волны с преградой под некоторым углом, помимо явления собственного отражения, происходят и другие сложные процессы взаимодействия волны с преградой, один из них — процесс так называемого нерегулярного отражения.

Когда фронт падающей ударной волны составляет с преградой некоторый угол α (рис. 27, *б*), то возникает качественно новое явление, связанное с образованием «головной» ударной волны, иногда называемой волной Маха (рис. 27, *в*). Фронт этой волны перпендикулярен к поверхности преграды. Точка *а*, в которой пересекаются фронты трех волн — падающей, отраженной и головной, называется тройной точкой. Вследствие указанных причин суммарное давление отражения на преграду до некоторых значений угла α вначале падает (до того, как начинает сказываться влияние нерегулярного отражения), затем начинает возрастать и по достижении максимума снова падает, достигая при $\alpha = 90°$ значения давления в падающей волне.

Значение избыточного давления в отраженной ударной волне для нерегулярного отражения можно определить с помощью графика на рис. 28.

На рис. 28 показана зависимость отношения отраженного избыточного давления $\Delta p_{отр}$ к избыточному давлению во фронте падающей волны $\Delta p_{ф}$ от величины угла падения фронта ударной волны. Данные применимы к фронту ударной волны, воздействующему на отражающую поверхность типа стены сооружения:

$\Delta p_{отр}$ — отраженное избыточное давление ударной волны для данного угла падения (*кг/см²*);

$\Delta p_{ф}$ — начальное максимальное избыточное давление в падающей волне (*кг/см²*);

α — угол, образуемый фронтом падающей ударной волны и отражающей поверхностью (в градусах).

Пример. Найти избыточное давление отражения, если на поверхность преграды падает ударная волна с

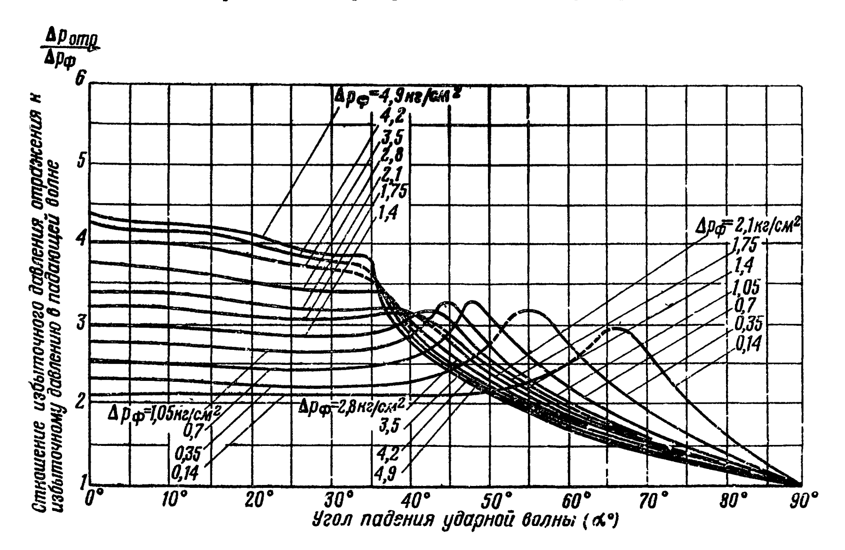


Рис. 28. Зависимость давления отражения от угла падения ударной волны для различных величин давления во фронте падающей волны

начальным максимальным избыточным давлением $\Delta p_ф$ в 2,1 *кг/см²* под углом 35°.

Решение. Из рис. 28 видно, что отношение отраженного избыточного давления к начальному избыточному давлению $\Delta p_{отр}/\Delta p_ф$ при $\Delta p_ф = 2{,}1$ *кг/см²* и угле падения 35° равняется 3,2.

Отсюда

$$\Delta p_{отр} = 3{,}2 \cdot 2{,}1 = 6{,}72 \text{ кг/см}^2.$$

4. ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ НА ОБРАЗОВАНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ УДАРНЫХ ВОЛН. Рассмотрим, как ведет себя воздушная ударная волна, набегая на наклонную преграду, например на откос холма, обращенного в сторону взрыва. Здесь возникают условия, при которых получается нерегулярное

отражение воздушной ударной волны. На рис. 29 показано несколько последовательных положений волны (*1, 2, 3, 4*), набегающей на передний скат холма. Около поверхности откоса получается ярко выраженная область нерегулярного отражения, и вдоль этой поверхно-

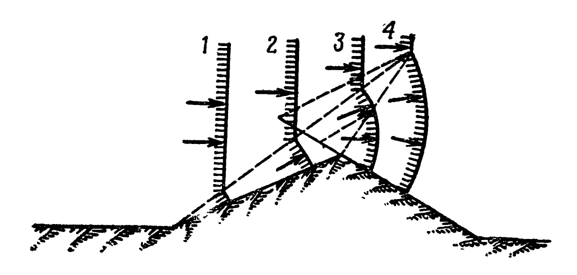


Рис. 29. Схема набегания ударной волны на холм (*1, 2, 3, 4*)

сти идет головная волна с давлением, повышенным по сравнению с первоначальной волной. Отсюда следует, что на скатах, обращенных в сторону взрыва, действие воздушной ударной волны будет всегда заметно возрастать. На обратных скатах волна, огибая вершину холма, ослабляется, действие взрыва снижается.

На обратных скатах образуется своеобразная «тень», в зоне ее действие взрывной волны понижено. Однако в лощинах и оврагах, направление которых совпадает с распространением ударной волны, возможно значительное местное увеличение давления.

В горной местности зона поражения может оказаться меньше, чем на равнине, а очертание ее, вследствие разнообразия рельефа, искаженным. В узких долинах, лощинах и ущельях, если они обращены своим входом в сторону взрыва, резкое увеличение давления ударной волны возможно еще в большей степени, чем на пересеченной местности. В горах возможны также обвалы, падение камней, снежные лавины, которые могут возникнуть даже сравнительно далеко за пределами зоны поражения ядерной бомбы. Взрыв такой бомбы вблизи ущелья или в узкой долине реки с высокими обрывистыми берегами способен привести к обвалу и затоплению прилегающей местности.

5. ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ДЕЙСТВИЕ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ. Влияние погоды на действие взрыва в основном зависит от температуры воздуха и скоростей ветра на различной высоте над поверхностью земли. Оба эти фактора влияют на действие взрыва, как правило, одновременно и совместно. Рассмотрим сначала влияние температуры.

Влияние температуры на распространение ударной волны. Скорость распространения ударной волны прямо пропорциональна скорости распространения звука, а скорость звука зависит от температуры. Она прямо пропорциональна корню квадратному из абсолютной температуры.

Обычно температура воздуха различна на разных высотах. Например, в жаркий летний полдень слой воздуха вблизи поверхности земли будет очень сильно нагрет. Такое явление чаще всего наблюдается летом в ясную, малооблачную погоду (рис. 30, *а*). Наиболее ярко выражено это явление над пустынями и выжженными степями. Верхние слои воздуха здесь заметно холоднее, и на высоте в несколько километров температура значительно ниже 0°С.

В этом случае скорость звука, а следовательно, и скорость ударной волны, распространяющейся вдоль поверхности земли, будут заметно больше скорости звука и ударной волны, идущих вертикально вверх, что приведет к изменению формы фронта волны. Например, при наземном взрыве в воздухе с постоянной температурой получается ударная волна, ограниченная поверхностью в форме полушара. Если же температура воздуха уменьшается с высотой, то полусферическая форма фронта волны изменится. Вдоль поверхности земли в нагретом воздухе волна уйдет сравнительно далеко; наоборот, наверху, в холодном воздухе, волна пройдет заметно меньшее расстояние. Получающееся в результате этого изменение формы фронта волны показано на рис. 30, *а*. Здесь же, справа, показано и изменение температуры с высотой.

Не очень сильные ударные волны распространяются по направлению, приблизительно перпендикулярному фронту волны. Поэтому изменение формы фронта должно привести к изменению направлений распространения

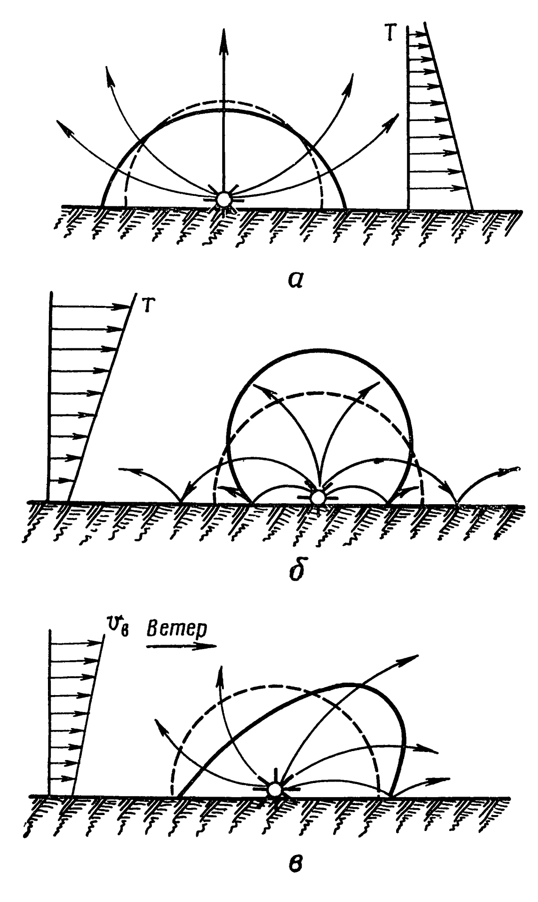


Рис. 30, *а* — отклонение направления распространения ударной волны при наличии более теплого воздуха у поверхности земли; *б* — отклонение направления распространения ударной волны при наличии более холодного воздуха у поверхности земли; *в* — распространение ударной волны при наличии нарастающего по высоте ветра

волн. Это также показано на рис. 30, *а*. Из рисунка видно, что под влиянием температуры направления распространения волны искривляются вверх. Это приводит к тому, что основная часть энергии ударной волны удаляется от поверхности земли и волна вблизи этой поверхности существенно ослабляется. Чем дальше уходит ударная волна от места взрыва, тем заметнее становится ее ослабление.

Обратная картина получается, когда температура воздуха с высотой возрастает (рис. 30, *б*). Воздух вблизи поверхности земли сильно охлажден, а на высоте более теплые массы воздуха. Волна будет быстрее распространяться вверх и медленнее у поверхности земли. Это приведет к изменению формы фронта ударной волны в воздухе (см. рис. 30, *б*). Здесь видно искривление путей распространения волны вниз, в сторону поверхности земли. Мы имеем здесь картину прямо противоположную той, которую можно было видеть на рис. 30, *а*. При искривлении путей распространения ударной волны вниз в слое воздуха вблизи поверхности земли создается усиленное действие взрыва, а радиус разрушения может существенно увеличиться.

Распределение температур воздуха, при котором наиболее холодные слои находятся внизу, вблизи поверхности земли, обычно наблюдается в ясные и холодные ночи, особенно на рассвете или при сильных морозах зимой.

Влияние ветра на распространение ударной волны. Обычно скорость ветра на высотах над поверхностью земли бывает разной, причем в большинстве случаев вблизи земли скорость меньше, а при подъеме на высоту скорость возрастает (рис. 30, *в*). При таких условиях ветер будет в той или иной мере изменять форму фронта волны. Если при наземном взрыве в однородном и неподвижном воздухе фронт волны имеет форму правильного полушара, то при ветре, нарастающем с высотой, фронт волны окажется как бы перекошенным в сторону, куда направлен ветер. Это и показано на рис. 30, *в*.

Искривление фронта волны, так же как и при влиянии температуры на волну, приводит к искривлению путей ее распространения. В чем при этом особенность влияния ветра? Прежде всего в резком различии в форме путей распространения волны со стороны, откуда

дует ветер, и со стороны, куда он дует (рис. 30, *в*). С той стороны, откуда направлен ветер, ударная волна отклоняется вверх и отрывается от поверхности земли. Наоборот, в противоположном направлении искривление волны приводит к усилению ее действия. В направлении ветра действие взрыва будет передаваться на расстояние большее, чем без ветра. Наоборот, в направлении против ветра это расстояние будет уменьшено. В целом получается, что область разрушающего действия взрыва при ветре увеличивается и смещается.

Ветер и переменная температура при совместном действии могут оказать еще более сильное влияние на ударную волну. Метеорологические условия могут сказаться на параметрах ударной волны, начиная с расстояния порядка нескольких км от эпицентра взрыва.

6. УДАРНЫЕ ВОЛНЫ В ПЛОТНЫХ СРЕДАХ. Ударные волны в воде при подводном ядерном взрыве. Для поражения ядерным оружием кораблей, портовых и гидротехнических сооружений весьма эффективным может оказаться подводный взрыв. Такой взрыв существенно отличается от взрыва в воздухе. Если заряд погружен в воду на глубину не менее 15—25 м (в зависимости от калибра), то световое и проникающее излучения взрыва не вырываются из воды наружу и поглощаются массой воды. За счет поглощенной энергии происходит образование больших масс водяного пара. Пар быстро расширяется, выбрасывает вверх громадный столб воды высотой более километра, а частично отдает свою энергию на образование в воде мощной ударной волны. Ударная волна в воде снаружи ограничена резким скачком уплотнения (фронтом волны). На фронте волны давление воды оказывается наибольшим. Далее, за фронтом, оно постепенно снижается, доходит до нормального и несколько снижается даже ниже нормального.

Скорость распространения ударной волны в воде более постоянна, чем в воздухе, и довольно велика. Она практически совпадает со скоростью распространения звука в воде (примерно 1500 м/сек).

На одном и том же расстояний давление в воде на фронте ударной волны гораздо больше, чем в воздухе. Чем же это объясняется? Прежде всего значительной плотностью воды и малой ее сжимаемостью. Какова характерная особенность ударной волны в воде? Встречая

неподвижную преграду, она весьма мало повышает свое давление. Это обусловлено тем, что скорость движения воды за фронтом ударной волны очень невелика, вода мало сжимаема.

Время действия избыточного давления в воде примерно в 130 раз меньше, чем в воздухе. Глубина ударной волны сравнительно невелика. Она зависит от заглубления ядерного заряда в воду в момент взрыва. Действительно, если взрыв ядерного заряда произошел на сравнительно небольшой глубине, то ударная волна в воде, идущая вверх, очень быстро достигает поверхности воды. Здесь давление на фронте ударной волны приводит к весьма быстрому отрыву поверхностного слоя воды от остальной ее массы. Этот слой разбивается на мелкие брызги, с большой силой выбрасываемые вверх. Слои воды, находящиеся ниже, как бы вскипают и превращаются в пену. Все это приводит почти к мгновенному исчезновению избыточного давления. У поверхности воды возникает волна разрежения, начинающая

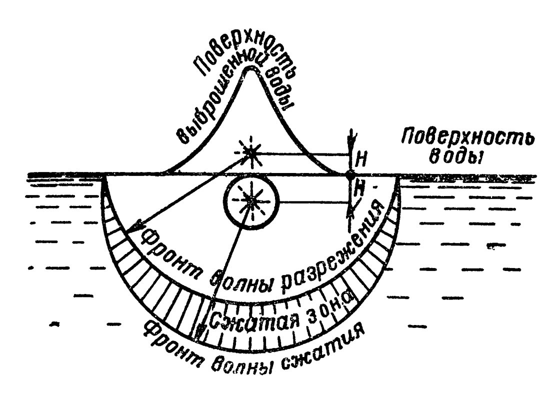


Рис. 31. Волна сжатия и волна разрежения при подводном взрыве

двигаться вниз, в глубь воды, со скоростью, равной скорости звука в воде. Так как волна разрежения распространяется в воде, дополнительно уплотненной волной сжатия, то волна разрежения догоняет волну сжатия и частично входит в сжатую зону воды и здесь снимает избыточное давление. Взаимодействие волны сжатия и волны разрежения показано на рис. 31.

Кривые графика на рис. 32 показывают зависимость максимального избыточного давления от расстояния до центра взрыва мощностью 1 тыс. т, произведенного в глубоком водоеме.

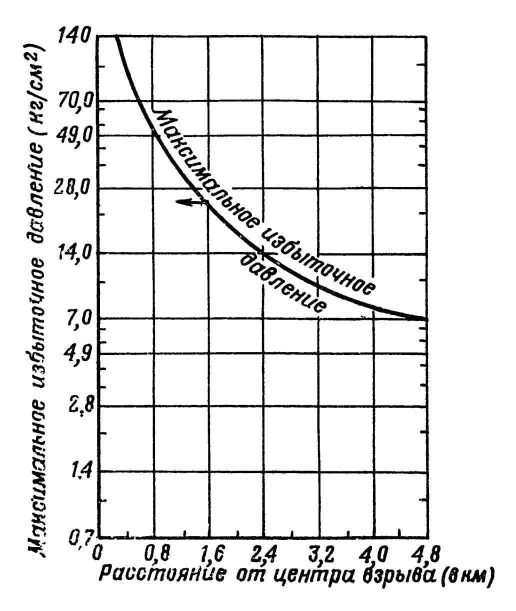


Рис. 32. Параметры подводной ударной волны при ядерном взрыве мощностью 1 тыс. тонн в глубоком водоеме

Расстояние R, на котором наблюдается заданное давление при ядерном взрыве мощностью более или менее 1 тыс. т, определяется из выражения

$$R = R_1 \cdot q^{1/3},$$

где R_1 — расстояние, на котором наблюдается данное давление при ядерном взрыве мощностью 1 тыс. т.

Пример. Определить максимальное избыточное давление на расстоянии 5 км при ядерном взрыве мощностью 30 тыс. т в глубоком водоеме.

Решение. Расстояние R_1 для ядерного взрыва мощностью в 1 тыс. т, соответствующее $R = 5$ км для ядерного взрыва мощностью 30 тыс. т, равно

$$\frac{5}{30^{1/3}} = 1{,}6 \text{ км}.$$

Из рис. 32 следует, что максимальное избыточное давление при ядерном взрыве мощностью 1 тыс. т на расстоянии 1,6 *км* от центра взрыва 23 *кг/см²*.

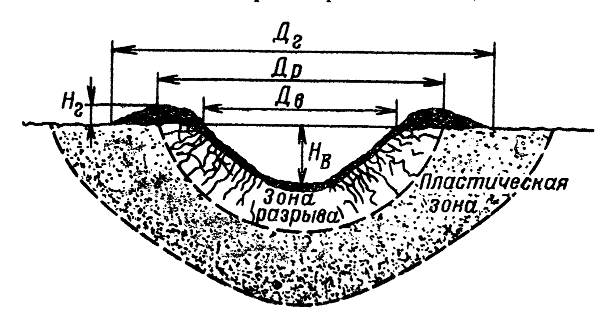


Рис. 33. Характерные размеры воронки при наземном ядерном взрыве

Согласно закону подобия, такое же давление при ядерном взрыве мощностью 30 тыс. т будет наблюдаться на расстоянии $1{,}6 \cdot 30^{1/3} = 5{,}0$ *км* от места взрыва. Искомая величина максимального избыточного давления 23 *кг/см²*.

Взрывные волны в грунте. Взрывные волны в грунте получаются, когда на поверхности земли или на некоторой глубине происходит взрыв. Взрыв непосредственно действует на массу грунта и вызывает в нем перемещение частиц и повышение давления.

Район вокруг эпицентра взрыва делят на три области: $Д_в$, $Д_р$, $Д_г$ (см. рис. 33). Первая охватывает непосредственно воронку. В пределах ее происходит практически полное разрушение всех сооружений.

Вторая простирается примерно до конца пластической зоны, т. е. на расстояние, на котором происходит остаточное перемещение грунта. В некоторых грунтах радиусы ее могут быть примерно 2,5 радиуса самой воронки. В пределах этой области подземные сооружения

будут разрушаться действием волны сжатия и перемещением грунта. Действительный механизм разрушения в этом случае зависит от нескольких более или менее независимых факторов, таких, как размер, форма и прочность сооружения, его ориентация относительно центра взрыва, характеристики грунта.

В третьей, за пределами пластической зоны, волна сжатия оказывает относительно слабое действие. В этом случае важнейшим критерием разрушения сооружений становится нагрузка волны сжатия, индуцированной воздушной ударной волны. Прочные или находящиеся на большой глубине сооружения не получат существенных повреждений. Степень повреждений сооружений средней прочности и недостаточно заглубленных и различных подземных коммуникаций будет определяться в основном величиной максимального избыточного давления воздушной ударной волны при наземном и подземном взрыве.

Видимая воронка с диаметром $Д_в$ и глубиной $Н_в$, как это показано на рис. 33,— углубление в земной поверхности после взрыва. У истинной воронки размеры больше размеров видимой воронки на толщину слоя грунта, упавшего в нее обратно. Приближенная величина объема W видимой воронки, если принять, что она формы параболоида, определяется формулой

$$W = \frac{\pi \cdot Д_в^3 \cdot Н_в}{8},$$

где $\pi = 3{,}14$.

Диаметр зоны разрушения, обозначенный на рис. 33 через $Д_р$,— примерно 1,5 диаметра видимой воронки, то есть

$$Д_р \approx 1{,}5 Д_в.$$

Полный диаметр зоны, включающей гребень, обозначенный $Д_г$,— около двух диаметров воронки, то есть

$$Д_г = 2 Д_в.$$

Высота насыпи, обозначенная на рис. 33 через $Н_г$, примерно равна одной четвертой части глубины воронки, то есть

$$Н_г = 0{,}25 Н_в.$$

Глубина и радиус видимой воронки в сухом грунте при наземном ядерном взрыве мощностью q тыс. т (где q может иметь любую величину в пределах от 1 тыс. т до 10 млн. т) могут быть получены из графика (рис. 34).

Он построен на законе подобия. Радиус и глубина воронки изменяются пропорционально кубическому корню из мощности взрыва.

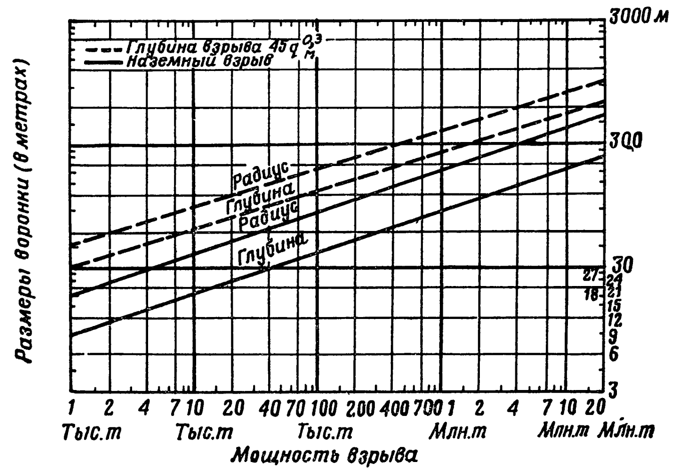


Рис. 34. Размеры видимой воронки, образующейся при наземном взрыве в сухом грунте на глубине 45 • $q^{0,3}$ м

Кривые на рис. 34 показывают зависимость радиуса и глубины воронки при взрыве в сухом грунте от мощности взрыва на поверхности земли (наземный взрыв) и на глубине 45 $q^{0,3}$ *м*. При определении размеров воронки в скалистом или песчаном грунте в расчет вводят коэффициент 0,8.

Пример. Определить размеры воронки, если произведен наземный ядерный взрыв мощностью 20 тыс. т на местности с супесчаным грунтом.

Решение. Из графика 34 находим, что радиус и глубина воронки в сухом грунте при взрыве указанной мощности составляют соответственно 51 и 24 *м*. Используя коэффициент 0,8, определяем приблизительные размеры воронки, образующейся при ядерном взрыве мощностью 20 тыс. т в песчаном грунте: диаметр воронки $Д_в = 102 \cdot 0,8 = 81$ *м*; глубина воронки $H_в = 24 \cdot 0,8 = 19$ *м*;

диаметр зоны разрушения $Д_р = 1{,}5 \cdot Д_в = 1{,}5 \cdot 81 = 126$ *м*; высота насыпи $Н_г = 0{,}25 Н_в = 0{,}25 \cdot 19 \approx 5$ *м*.

График на рис. 35 (сплошная кривая) показывает зависимость величины радиуса видимой воронки от глубины ядерного взрыва мощностью 1 тыс. т в сухом грунте. Пунктирными кривыми показаны возможные отклонения от расчетов при нормальных условиях. Для скалистого грунта в расчет должен быть введен коэффициент 0,8.

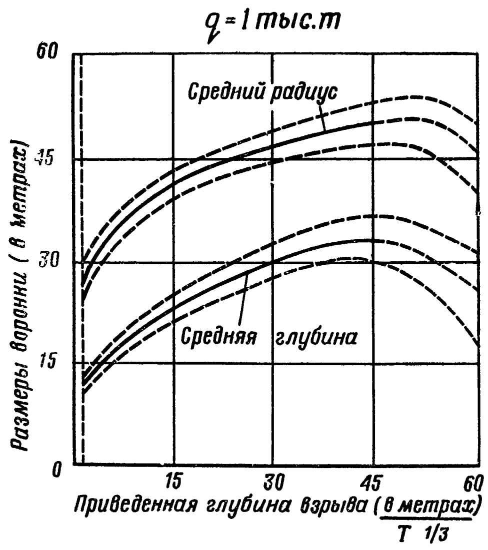


Рис. 35. Зависимость радиуса и глубины воронки от глубины подземного ядерного взрыва мощностью 1 тыс. тонн в сухом грунте (данные будут неточными, если приведенная глубина взрыва превышает 45 м)

Для определения радиуса и глубины воронки при ядерном взрыве мощностью q тыс. тонн, фактическую глубину взрыва делят сначала на $q^{1/3}$, при этом получают приведенную глубину. Затем радиус и глубина воронки при взрыве мощностью 1 тыс. т на данной глубине определяются по рис. 35. Полученные данные умножаются на $q^{1/3}$.

Пример. Определить радиус и глубину воронки при ядерном взрыве мощностью 20 тыс. т в граните на глубине 15 *м*.

Решение. Приведенная глубина взрыва составляет

$$\frac{15}{20^{1/3}} \approx 6 м/т^{1/3}.$$

Из рис. 35 находим, что радиус воронки при взрыве мощностью 1 тыс. т на глубине 6 м/т$^{1/3}$ равен 34 *м*, а глубина воронки — 16 *м*. Следовательно, радиус и глубина воронки при ядерном взрыве мощностью 20 тыс. т, произведенном на глубине 15 *м* в граните, равны

$$R_в = 34 \cdot 20^{1/3} \cdot 0{,}8 = 69\ м;$$
$$H_в = 16 \cdot 20^{1/3} \cdot 0{,}8 = 32\ м.$$

7. ПОРАЖАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ УДАРНОЙ ВОЛНЫ. Воздействие ударной волны на людей. Характер и степень поражения людей при ядерном взрыве зависят от условий в момент взрыва: расстояния от центра взрыва, положения в момент взрыва, степени защиты и пр. Воздействуя на незащищенного человека, ударная волна способна нанести различные травмы, в основном такого же характера, как и при взрыве обычных снарядов и бомб, снаряженных тротилом. Однако зона поражения при ядерном взрыве гораздо больше, чем при взрыве обычных боеприпасов.

Ударная волна ядерного взрыва оказывает на людей и животных непосредственное (прямое), а также косвенное воздействие. При косвенном воздействии они поражаются летящими и падающими обломками разрушаемых зданий и сооружений.

При непосредственном воздействии ударная волна может причинить смертельные поражения человеческому организму, если избыточное давление во фронте ударной волны будет значительным. Действие такой ударной волны на человека приведет к повреждениям легких, барабанных перепонок, вызовет внутреннее кровоизлияние. При атомной бомбардировке американцами японских городов Хиросима и Нагасаки были случаи смертельных ранений людей от прямого воздействия ударной волны на расстоянии до 800 м от эпицентра взрыва. На этом расстоянии давление во фронте волны 1,2—1,3 *кг/см*^{2}.

Однако при взрыве ядерных бомб над японскими городами непосредственное воздействие ударной волны не было главной причиной гибели и ранения людей. Боль-

ше людей погибло от косвенного воздействия ударной волны, обрушивающихся зданий, обломков и бревен, увлекаемых ударной волной, летящих предметов. Косвенное воздействие причина ранений и повреждений весьма различного характера — от незначительных (царапин, ушибов) до смертельных. Косвенное воздействие ударной волны приводило к поражению людей на значительных расстояниях. В Хиросиме и Нагасаки отмечены случаи ранения людей обломками зданий на расстоянии до 3200 и 3700 м от эпицентра взрыва, а тяжелые ранения — до 2000 м. От косвенного воздействия ударной волны в Хиросиме и Нагасаки больше всего жертв было среди людей в помещениях, здесь вероятность поражения обломками разрушаемых зданий была наибольшей.

Травмы от действия ударной волны принято подразделять на легкие, средние, тяжелые и крайне тяжелые.

Легкие травмы людей возникают при избыточном давлении в ударной волне 0,2—0,4 кг/см^2 при воздушном взрыве ядерного заряда среднего калибра на расстоянии до 2,5 км. Они обычно характеризуются временными повреждениями слуха, общей легкой контузией, ушибами, вывихами конечностей.

Травмы средней тяжести возникают при давлении в ударной волне приблизительно 0,5 кг/см^2 и наблюдаются на расстояниях до 2 км от места взрыва ядерного заряда среднего калибра. При этих травмах может быть серьезная контузия всего организма, повреждение органов слуха, кровотечение из носа и ушей, переломы и сильные вывихи конечностей.

Тяжелые травмы возникают при давлении в ударной волне свыше 0,5 кг/см^2 и известны на расстоянии до 1,5 км от места взрыва ядерного заряда среднего калибра. Для них характерны контузия всего организма, сильное кровотечение из носа и ушей и тяжелые переломы конечностей.

При давлениях свыше 1 кг/см^2 человек получает травмы крайне тяжелой степени.

Среди пострадавших в Хиросиме и Нагасаки приблизительно 70% имели открытые раны (порезы и рваные раны); ушибы (контузии) и переломы — 10—20%. Причиной более 60% открытых ранений были летящие предметы: осколки стекла, обломки строений, а свыше 50%

ушибов было вызвано обломками обрушивающихся зданий. Повреждения от летящих предметов и обломков обрушивающихся зданий составили 70—80% всех травм. По данным иностранной печати, в Хиросиме до 50% смертельных случаев было вызвано воздействием ударной волны.

В некоторых случаях действие ударной волны на людей оказывалось различным даже на одинаковых расстояниях от эпицентра взрыва. В чем причина? Это произошло потому, что условия распространения ударной волны не везде одинаковы. Здесь сказывается экранирующее влияние различных местных предметов, например зданий, а также рельефа местности: холмов, возвышенностей и т. д. Приведем несколько характерных случаев прямого воздействия ударной волны при атомных взрывах в Хиросиме и Нагасаки. Люди, например, на дамбе на расстоянии 800 м от эпицентра взрыва были сброшены в реку. Человек в 1200 м от эпицентра взрыва был отброшен на 10 м, а на удалении в 2000 м от эпицентра был повален на землю. На горе в 9000 м от эпицентра взрыва у людей слетели головные уборы. Таково прямое воздействие ударной волны при взрыве ядерной бомбы с тротиловым эквивалентом 20 тыс. т.

Отметим также, что в населенных пунктах от воздействия ударной волны могут возникнуть пожары. Причина их — разрушение печей и повреждение газовых и электрических сетей. Пожары могут стать причиной поражения людей.

Воздействие ударной волны на различные сооружения и объекты. Разрушающее действие воздушной ударной волны вызывается тем, что она, встречая на своем пути какое-либо препятствие, производит на него значительное давление. Если, например, воздушная ударная волна встречает на своем пути дом, то она производит прежде всего удар по той стене дома, к которой она подошла.

Кроме того, волна, обтекая здание, оказывает давление на него сзади и с боков, а также, проникая внутрь здания через окна и двери, повышает давление воздуха внутри здания.

Подземные укрытия с перекрытиями, не выступающими над поверхностью земли, испытывают примерно такое же давление, как и сама поверхность земли. Если

волна идет вдоль поверхности земли, то есть если мы имеем дело с ударной волной наземного взрыва или головной волной в результате нерегулярного отражения при воздушном взрыве, то давление на поверхность перекрытия будет равно избыточному давлению воздуха на фронте волны.

Убежища из монолитного железобетона или железобетонных элементов могут выдержать действие воздушного взрыва ядерного заряда среднего калибра в любой точке, в частности, даже в эпицентре, то есть непосредственно под местом взрыва. Это справедливо, если высота взрыва над поверхностью земли не менее 300 м.

Рассмотрим действие ударной волны при взрыве заряда с тротиловым эквивалентом 20 тыс. т. Значительные разрушения в Хиросиме и Нагасаки были вызваны главным образом воздействием мощной ударной волны ядерных взрывов. Степень повреждения зданий, их устойчивость при взрыве зависит в первую очередь от мощности взрыва, а также от типа, прочности конструкции, размеров здания, материалов, из которых они построены, положения здания среди местных предметов, расположения его на местности и от расстояния до места атомного взрыва.

Одноэтажные бетонные здания (заводские корпуса) в Хиросиме получили сильные повреждения до 1600 м от эпицентра взрыва. Многоэтажные здания с железобетонным каркасом, а также промышленные здания со стальным каркасом были полностью разрушены на расстоянии до 700 м, а серьезные повреждения такие здания получили до 1500 м от эпицентра взрыва.

Бескаркасные кирпичные здания разрушаются на бо́льших расстояниях, чем каркасные или железобетонные. Кирпичные многоэтажные бескаркасные здания полностью разрушаются на расстоянии до 1600 м от эпицентра взрыва. Жилые легкие каркасные деревянные дома (малопрочные) разрушаются на расстоянии до 4000 м от эпицентра взрыва.

Радиусы зон разрушения зданий и повреждения боевой техники приведены на рис. 36.

При воздушном взрыве ядерного заряда с тротиловым эквивалентом 20 тыс. т (высота взрыва $H = 600$ м) тяжелые повреждения могут получить танки на расстоя-

нии до 200 м от эпицентра взрыва, радиолокаторы — на расстоянии до 1200 м, самолеты на земле — на расстоянии до 1600 м. Разрушение остекления может быть до 8—12 км от места взрыва.

Поражение военных кораблей различных классов характеризуется ориентировочными данными, приведенными в иностранной печати. Вывод корабля из строя или

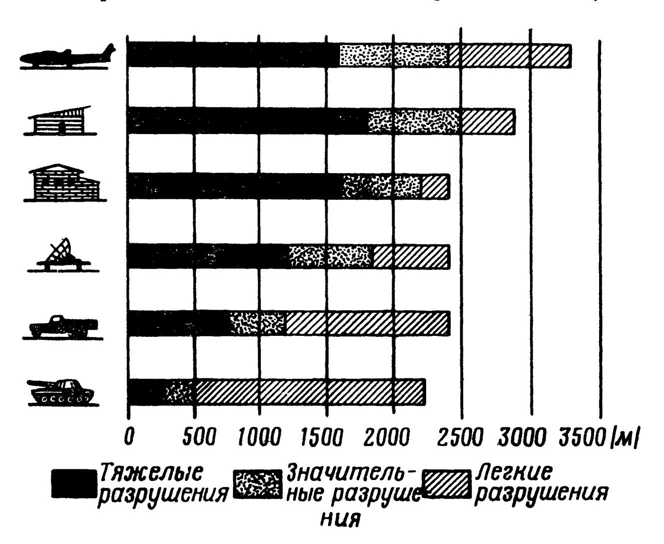


Рис. 36. Радиусы зон разрушения зданий и повреждений боевой техники при воздушном взрыве ядерной бомбы с тротиловым эквивалентом q=20 тыс. тонн

очень тяжелые повреждения могут быть на расстояниях до 800—1000 м от центра взрыва заряда среднего калибра; сильные повреждения надстроек, котлов и оборудования — на 1000—1200 м, средние повреждения — до 1350 м и легкие — до 1650 м. Понятно, что степень поражения во многом зависит от класса корабля. Условия взрыва (глубина водоема, глубина взрыва и пр.) также влияют на величину радиуса поражения.

В следующей главе мы расскажем о световом излучении при ядерном взрыве и средствах защиты от этого поражающего фактора ракетно-ядерного оружия.

IV. СВЕТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Взрыв обычных снарядов также сопровождается световой вспышкой. Однако максимальная температура газов при этом не превышает 5000°С, и они занимают небольшой объем. Вспышка длится всего лишь сотые доли секунды. Из-за этого почти вся энергия взрыва выделяется в виде кинетической энергии газов. На световое же излучение расходуется такое незначительное количество энергии, что говорить о каком-либо его поражающем действии не приходится.

Другое дело при ядерном взрыве. Одно из важнейших отличий ядерного взрыва от обычного в том, что при ядерном взрыве значительная часть энергии (около 35%) высвобождается в форме светового излучения. В месте взрыва возникает светящаяся область больших размеров с длительным свечением. Так, при воздушном взрыве мощностью 20 тыс. т в месте взрыва образуется огненный шар. Максимальный радиус его достигает 235 м, а время свечения 3 сек. С увеличением мощности взрыва размеры огненного шара и время свечения возрастают, и для тротилового эквивалента в 1000 тыс. т максимальный радиус равен 1100 м, а время свечения 10 сек.

1. ИСТОЧНИК СВЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА. В процессе ядерных реакций выделяется колоссальное количество энергии. Продукты деления (или синтеза), оставшаяся часть ядерного заряда, его оболочка и все другие составные части ядерного боеприпаса нагреваются до чрезвычайно высоких температур (миллионов градусов). При такой температуре все вещества находятся в газообразном состоянии. Поскольку газы занимают ограниченный объем (объем боеприпаса), они создают колоссальное давление. Это давление в миллиарды раз больше атмосферного. Сильно нагретые газы испускают излучения в широком диапазоне длин волн, но основная их доля в области мягких рентгеновских лучей. Они уносят около 70% общей энергии взрыва. Эти лучи полностью поглощаются окружающим воздухом на расстоянии нескольких метров от места взрыва. Воздух, поглотивший мягкие рентгеновские лучи, нагревается также до очень высокой температуры и испускает излучения, поглощаемые очередны-

ми ненагретыми слоями воздуха. Уже при температуре 30 000° воздух начинает испускать излучения. Большая часть их поглощается ненагретыми слоями воздуха.

Так, от последовательного прогрева слоев воздуха мягкими рентгеновскими лучами в месте воздушного взрыва образуется огненный шар. Он состоит из светящегося воздуха и раскаленных продуктов взрыва. При взрыве ядерного заряда мощностью 20 тыс. т через 0,0001 сек, радиус огненного шара достигает примерно 15 м, а температура 300 000° С. Такой шар называется изотермическим, поскольку во всех его точках температура одинакова. Сразу же после своего образования огненный шар из-за высокого давления начинает быстро расширяться, сжимая прилегающий к нему воздух. Сжатие от первого слоя передается последующим слоям, возникает воздушная ударная волна. Увеличение размеров огненного шара сопровождается понижением его температуры из-за вовлечения в шар новых масс воздуха. В то же время огненный шар быстро поднимается вверх, подобно воздушному шару. Скорость подъема шара в начальный момент достигает 75—100 м/сек. Ввиду сложных процессов в огненном шаре температура его поверхности изменяется несколько необычным образом. Если температура внутри изотермического шара уменьшается постепенно, то на его внешней поверхности вначале она резко падает, достигает минимума, равного 1800°С, а затем снова постепенно повышается до максимума, равного примерно 8000°С, после чего медленно снижается до тех пор, пока огненный шар не перестает светиться (рис. 37).

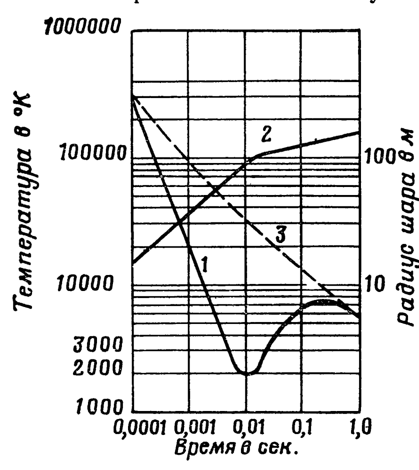


Рис. 37. Изменение температуры поверхности (*1*), радиуса огненного шара (*2*) и температуры изотермического шара (*3*) по времени ядерного взрыва мощностью 20 тыс. т

Такой необычный характер изменения температуры поверхности огненного шара объясняется экранирующим действием ударной волны. На самой ранней стадии развития огненного шара передача энергии излучением происходит быстрее, чем от расширения массы газа. Поэтому фронт ударной волны находится внутри изотермического шара. По мере расширения изотермического шара и падения его температуры скорость передачи энергии излучением становится меньше, поэтому фронт ударной волны начинает обгонять изотермический шар. Начиная с того момента, когда температура изотермического огненного шара становится равной 300 000° С, фронт ударной волны движется уже впереди огненного шара. Температура во фронте ударной волны, обусловленная огромным сжатием, хотя и ниже, чем в изотермическом шаре, но такова, что воздух в ней светится. Светящийся воздух во фронте волны не только излучает, но и поглощает излучение, идущее от более нагретого изотермического шара, т. е. служит для него своеобразным экраном.

По мере распространения ударной волны давление и температура в ее фронте падают, и наконец наступает такой момент, когда давление и температура во фронте упадут настолько, что воздух перестает светиться. Для ядерного взрыва мощностью 20 тыс. т это соответствует времени 0,010 сек. и минимуму температуры на его внешней поверхности, равной 1800°С. Развитие огненного шара до минимума температуры на его внешней поверхности называют первой фазой его развития. Этот процесс соответствует также явлению отрыва ударной волны от огненного шара.

Что же происходит дальше, когда фронт ударной волны перестает светиться? С этого момента начинается вторая фаза развития огненного шара. Фронт ударной волны перестает быть экраном для световой энергии от более нагретой изотермической области. Она к этому времени достигает в радиусе около 100 м. Поскольку изотермическая область более нагрета, чем воздух во фронте ударной волны, температура поверхности огненного шара, достигнув минимума, вновь начинает повышаться. Это приводит через 0,2—0,3 сек. к образованию максимума температуры поверхности огненного шара, равного 8000° С. Затем вследствие потери энергии на из-

лучение и охлаждения раскаленных газов огненного шара после его расширения температура поверхности огненного шара постепенно понижается. Примерно через 1 сек. после начала взрыва температура поверхности огненного шара уменьшается до 5000° С, а радиус его достигает 150 м. Через 3 сек. радиус огненного шара достигает своих максимальных размеров — 235 м, свечение его прекращается.

Для взрывов большей мощности характер изменения температуры внешней поверхности огненного шара такой же, как для взрыва мощностью 20 тыс. т (рис. 37), только минимумы и максимумы температур смещены по времени в бо́льшую сторону. Однако абсолютные значения минимальной и максимальной температур внешней поверхности огненного шара остаются 1800° С и 8000° С, т. е. не зависят от мощности взрыва. Размеры же огненного шара и время его свечения увеличиваются с увеличением мощности взрыва (табл. 2).

Таблица 2

Максимальные размеры и время свечения огненного шара в зависимости от тротилового эквивалента ядерного заряда

Тротиловый эквивалент	1 тыс.	20 тыс.	1 млн	5 млн	10 млн.
Максимальный диаметр огненного шара, м	140	470	2200	4100	5400
Время свечения огненного шара, сек.	1	3	10	19	24

При наземном ядерном взрыве образуется светящаяся полусфера, радиус ее примерно в 1,3 раза больше радиуса огненного шара воздушного взрыва той же мощности.

Так, при ядерных взрывах образуется светящаяся область в форме сферы или полусферы. Она — мощный источник световой энергии. Температура поверхности светящейся области меняется со временем весьма сложным образом; различают две фазы ее развития. Размеры светящейся области увеличиваются с течением времени. Максимальный ее размер и время свечения определяются величиной тротилового эквивалента.

Источники света, испускающие световую энергию из-за их нагревания до высокой температуры, называются температурными источниками. Многие из них, в том числе и Солнце, подчиняются законам излучения абсолютно черного тела. С достаточной для практики точностью можно принять, что светящаяся область ядерного взрыва излучает свет так же, как абсолютно черное тело. В первой фазе развития огненного шара, несмотря на высокую температуру, излучается всего лишь около одного процента от полной световой энергии, излучаемой огненным шаром за все время его свечения. Почти вся световая энергия (99%) излучается огненным шаром во второй фазе его развития. Для ядерного заряда мощностью 20 тыс. т основная доля (80—85%) световой энергии излучается за первую секунду после взрыва, а остальная часть (20—15%) в промежутке времени 1—3 сек. В первой фазе развития огненного шара, когда температура его поверхности измеряется десятками тысяч градусов, преобладает ультрафиолетовое излучение. Во второй фазе температура поверхности огненного шара в среднем равна 6000° К (максимальная 8000°К). Это значит, что спектр излучений огненного шара во второй фазе его развития близок к спектру солнечных излучений, т. е. ультрафиолетовое излучение — 13%, видимое — 45% и инфракрасное — 42%. Так, под световым излучением ядерного взрыва понимают излучение в инфракрасной, видимой и ультрафиолетовой частях электромагнитного спектра. Световое излучение ядерного взрыва настолько мощное, что под его воздействием на больших расстояниях от места взрыва наблюдаются ожоги у людей и животных, воспламенение горючих материалов, вызывающих пожары.

2. СВЕТОВЫЕ ИМПУЛЬСЫ. Поражающее действие светового излучения ядерного взрыва зависит от количества световой энергии, падающей за все время излучения огненного шара на 1 см² поверхности, перпендикулярной направлению распространения света. Это количество световой энергии называется *световым импульсом*, он имеет размерность $\frac{кал}{см^2}$.

Если бы атмосфера не ослабляла светового излучения, то вся световая энергия, излучаемая огненным шаром, проходила бы через поверхность сферы, равную

$S = 4\pi R^2$, *см*². Значит, на каждый квадратный сантиметр поверхности будет падать световой импульс, равный

$$U = \frac{E_{изл}}{4\pi R^2}, \quad \frac{кал}{см^2},$$

где $E_{изл}$ — общее количество световой энергии, излучаемое огненным шаром за все время его свечения, в калориях.

Общее количество световой энергии $E_{изл}$ при воздушных и наземных взрывах примерно одна треть от всей энергии взрыва. Так как тысяча тонн тротила соответствует энергии 10^{12} кал, то

$$E_{изл} = \frac{1}{3} E_{полн} = \frac{1}{3} 10^{12} \cdot q, \ кал,$$

где q — тротиловый эквивалент взрыва в тыс. т.

В атмосфере всегда происходит ослабление световой энергии из-за рассеяния и поглощения света частицами пыли, дыма, каплями влаги (туман, дождь, снег). Поэтому световой импульс зависит не только от тротилового эквивалента q и расстояния R, но и от прозрачности атмосферы (запыленности, содержания влаги и т. д.). Ослабление светового излучения в атмосфере учитывается множителем e^{-kR}. Для светового импульса можно написать формулу

$$U = \frac{10^{12} \cdot q}{3 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{10} \cdot R^2} \cdot e^{-kR}, \quad \frac{кал}{см^2}.$$

После упрощения в окончательном виде формула для вычисления светового импульса будет выглядеть таким образом:

$$U = \frac{2,65 \cdot q}{R^2} \cdot e^{-kR}, \quad \frac{кал}{см^2},$$

где q — тротиловый эквивалент в тыс. т;
R — расстояние от центра взрыва до объекта в км;
k — усредненный (для всех длин волн) коэффициент ослабления светового излучения в атмосфере в $\frac{1}{км}$;
e — основание натуральных логарифмов, равное 2,72.

Ослабление светового излучения ядерного взрыва в атмосфере зависит от многих факторов: концентрации, типа и размера находящихся в воздухе частиц, длины волны излучения, высоты взрыва и других. В связи с

этим коэффициент ослабления K математической формулой не выражается. На практике для чистого воздуха K принимают равным $0,1 \frac{1}{\text{км}}$ и меньше; для городских условий $K = 0,4 \frac{1}{\text{км}}$ и для густого тумана — $2 \frac{1}{\text{км}}$. Зависимость световых импульсов от расстояния и прозрачности атмосферы при воздушном ядерном взрыве мощностью 20 тыс. т приведена на рис 38.

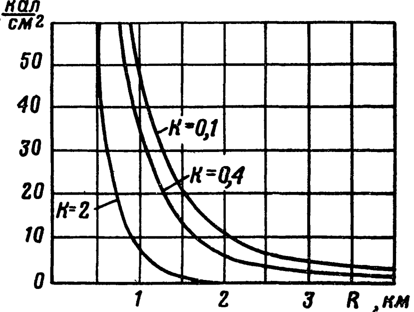


Рис. 38. Зависимость световых импульсов от расстояния и прозрачности атмосферы ядерного взрыва мощностью 20 тыс. тонн

При наземных взрывах величины световых импульсов на поверхности земли на тех же расстояниях будут примерно на 40% меньше, чем при воздушном взрыве такой же мощности. Объясняется это тем, что в горизонтальном направлении излучает поверхность не всей сферы, а лишь полусферы, хотя и большего радиуса. Кроме того, нижняя часть полусферы экранируется всегда пылью и дымом, поднимающимися с земли.

Если земная поверхность хорошо отражает свет (снежный покров, асфальт, высохшая трава и др.), то прямое световое излучение, падающее на предмет, усиливается отраженным. Суммарный световой импульс при воздушном взрыве может быть больше прямого в 1,5—2 раза.

Если ядерный взрыв происходит между облаками и землей, то световое излучение, отраженное от облаков, действует на объекты, закрытые от прямого излучения, идущего от огненного шара. Величина светового импульса, отраженного от облаков, может достигать половины прямого импульса. Это обстоятельство учитывают при организации противоатомной защиты.

Поражающее действие светового излучения ядерного взрыва. Энергия светового излучения (световой импульс), падая на поверхность того или иного тела, ча-

стично отражается его поверхностью, поглощается им и проходит через него, если тело прозрачно.

Поражающее действие светового излучения определяется поглощаемой частью светового излучения, она приводит к повышению температуры тела. Поэтому поглощенную часть светового импульса часто называют **тепловым импульсом**. Он определяется по формуле

$$U_т = U \cdot p \cdot \cos\alpha, \ \frac{кал}{см^2},$$

где U — световой импульс, падающий на тело;
$U_т$ — тепловой импульс;
p — коэффициент поглощения поверхности тела;
α — угол падения световой энергии.

Если тепловой импульс достаточно велик, то происходит ожог открытых участков тела, обугливание или воспламенение материалов, оплавление металлов.

Ожоги под действием светового излучения. Световое излучение, воздействуя на людей, вызывает ожоги открытых участков тела, временное ослепление или ожоги сетчатки глаз. Различают два типа ожогов: непосредственно под действием светового излучения и пламенем, возникшим при возгорании различных материалов и обмундирования. Ожоги пламенем характерны для пожаров в городах и населенных пунктах. Так, в Хиросиме и Нагасаки примерно 50% всех смертных случаев было вызвано ожогами. Из них 20—30% непосредственно световым излучением, а 70—80% — ожогами от пламени пожаров. На открытой местности, например на поле боя, будут, по-видимому, преобладать ожоги от непосредственного воздействия светового излучения ядерного взрыва.

Кроме того, вблизи эпицентра взрыва можно получить ожоги от горячих газов и пыли. Они разогреты световым излучением и проникают в помещения и сооружения под действием ударной волны.

Независимо от происхождения все ожоги по силе поражения организма человека разделяют на три степени: первой, второй и третьей степени.

Степень ожогов зависит от величины светового импульса, т. е. от удаления людей от места и вида ядерного взрыва, продолжительности воздействия светового излучения, положения человека по отношению к взрыву, качества одежды и состояния атмосферы.

Ожог первой степени вызывается световым импульсом, равным 2—4 кал/см^2 (нижние пределы относятся к зарядам малого калибра, верхние — крупного калибра). Ожог этой степени сопровождается покраснением кожи и некоторой болезненностью. При подобных ожогах рук, лица, шеи человек не теряет боеспособности и не нуждается в каком-либо специальном лечении. Ожоги первой степени заживают сравнительно быстро.

Ожог второй степени вызывается световым импульсом, равным 4—7,5 кал/см^2. Этот ожог характеризуется образованием пузырей, наполненных жидкостью. При подобных ожогах человек, как правило, теряет боеспособность и нуждается в специальном лечении. Считается, что личный состав, находящийся от места взрыва на расстоянии, достаточном, чтобы получить ожоги второй степени, может быть выведен из строя (потенциальные потери).

Ожог третьей степени вызывается световым импульсом, равным 6—12 кал/см^2. Ожог этой степени характеризуется полным разрушением кожного покрова по всей его толщине с образованием язв. Люди с такими ожогами нуждаются в длительном лечении.

Глубина ожога — это не единственный фактор воздействия светового излучения на человека. Опасность ожогов для жизни зависит также от размера пораженной площади тела. Поэтому ожог первой степени по всему телу может оказаться более серьезным, чем третьей степени на небольшом участке.

Классификация ожогов по трем степеням условная. Трудно провести точную разграничительную линию между ожогами первой и второй, второй и третьей степенями. Каждая из них может быть слабой или сильной. Иногда трудно отличить сильный ожог второй степени от слабого ожога третьей. Когда решают, какой степени ожог, имеют в виду средний ожог этой степени.

В иностранной печати указывается, что опытными ядерными взрывами и лабораторными исследованиями установлено, что одну и ту же степень ожога можно получить от ядерных зарядов малого калибра при меньшем значении светового импульса, чем от зарядов крупного калибра (рис. 39). Объясняется это тем, что при очень мощном взрыве световая энергия выделяется в течение относительно большего периода времени, т. е. медлен-

нее, чем при взрыве меньшей мощности. В течение большего времени освещения часть поглощенной световой энергии успевает проникнуть в более глубокие слои тела человека. В то же время при быстром освещении световая энергия поглощается только верхними слоями его кожного покрова. Указывается, что, если учесть такие изменения величины светового импульса и ожогов в зависимости от мощности взрыва (рис. 39), можно рассчитать предельные расстояния, когда световое излучение наносит ожоги той или иной степени.

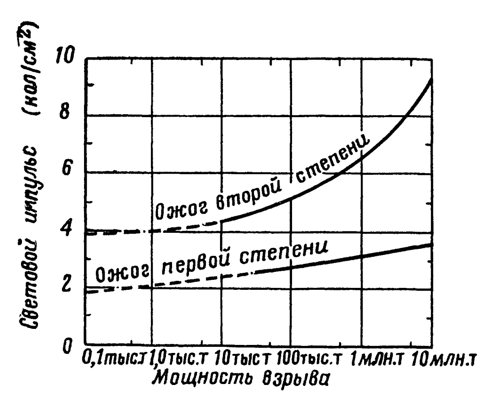


Рис. 39. Зависимость световых импульсов. вызывающих ожоги первой и второй степени, от мощности взрыва

В таблице 3 приведены примерные расстояния от эпицентров воздушных взрывов различных мощностей. На этих расстояниях при хорошей прозрачности атмосферы можно получить ожоги первой и второй степени открытых участков тела.

Таблица 3

Расстояния от эпицентров воздушных взрывов различных мощностей (в км), на которых личный состав может получить ожоги открытых участков тела

Степень ожогов \ Мощность взрыва в тыс. т	1,0	10	100	1000	10 000
Ожоги первой степени	1,1	3,0	8,5	22,4	48,0
Ожоги второй степени	0,8	2,4	6,4	17,6	38,4

Если у земли туман или дым, то можно получить такие ожоги на меньших расстояниях от эпицентра взры-

ва, чем в хорошую погоду. Если над точкой взрыва облака или на земле снег, то расстояния, на которых будут наноситься ожоги указанных степеней, будут бо́льшими, чем в таблице 3.

При наземном взрыве расстояния уменьшаются примерно на 40%. Хотя от прямого воздействия светового излучения большей частью поражаются открытые участки тела человека, в Хиросиме и Нагасаки отмечались случаи ожогов кожи, защищенной одним или несколькими слоями одежды. Такие случаи наблюдались на тех участках тела человека, к которым одежда плотно прилегала — на локтях, плечах, талии. Те части тела (спина), где одежда свободно спадала, остались неповрежденными. Люди, одетые в темную одежду, получали более сильные ожоги, чем одетые в белую или других светлых тонов. У людей в многоцветной одежде участки тела под рисунками темного цвета получали более сильные ожоги. Степень ожога защищенных участков тела человека в большой степени зависит от толщины и плотности одежды. Чем плотнее и толще, а также светлее одежда, тем она лучше защищает от прямого воздействия светового излучения ядерного взрыва.

Действие светового излучения на глаза. Действие светового излучения на глаза разделяют на два вида: необратимое (ожоги сетчатой оболочки) и временное (ослепление вспышкой).

Среди оставшихся в живых в Хиросиме и Нагасаки поражение глаз световым излучением не имело большого распространения. Было много случаев временной слепоты в течение 2—3 часов после взрыва и известен один случай поражения сетчатки глаза. Другой случай ожога сетчатки был отмечен при испытании ядерного оружия в США на расстоянии 16 км от эпицентра взрыва мощностью 20 тыс. т.

Было высказано несколько предположений о причинах небольшого числа случаев поражения глаз у людей в Японии. Указывалось, в частности, что взрывы происходили при ярком дневном свете, когда зрачки у людей обычно сокращаются. Глубокое расположение глаз также обеспечивало в некоторой степени защиту глаз от светового излучения. Защите глаз способствовал также свойственный человеку мигательный рефлекс, т. е. автоматическое зажмуривание глаз, которое длится около

0,15 сек. Указывается, что мигательный рефлекс может быть действенным средством защиты глаз только от светового излучения воздушных и наземных ядерных взрывов мегатонной мощности. У них значительная часть световой энергии освобождается в большее время (секунда и более), чем время зажмуривания глаз. Однако сомнительно, чтобы этот рефлекс оказал эффективное защитное действие на глаза при воздушных и наземных взрывах килотонной мощности и при ядерных взрывах (всех мощностей) на большой высоте, когда большая часть световой энергии освобождается в течение весьма малого промежутка времени.

Поражения глаз будут бóльшими в условиях ночных ядерных взрывов, когда зрачок глаз расширен.

Для защиты глаз от светового излучения никогда при взрывах не смотрите на огненный шар. Учтите, что обычные противосолнечные темные очки могут обеспечить лишь небольшую защиту глаз от светового излучения ядерного взрыва. Для уменьшения воздействия светового излучения необходим более непрозрачный материал.

Действие светового излучения на различные материалы. Световое излучение вызывает возгорание и обугливание различных горючих материалов. Непосредственно на поле боя под действием светового излучения могут возгораться или обугливаться деревянные детали вооружения и техники, воспламеняться чехлы, резиновые катки у танков и автомашин, обгорать краска танков и других предметов вооружения. В засушливое время года возникают пожары в лесу и степи. Большой опасности будут подвергаться склады горюче-смазочных материалов, боеприпасов и другого имущества. На военно-морских базах могут воспламеняться причальные сооружения, мелкие деревянные плавсредства, пирсы. На кораблях воспламенятся брезентовые чехлы, деревянные настилы и рангоуты, пеньковые тросы и т. п. Боевой корабельной технике световое излучение серьезных повреждений причинить не может. В отдельных случаях бывает обугливание резиновых амортизаторов, обгорание или потемнение краски на кораблях и т. д.

При ядерном взрыве в условиях аэродрома может произойти обгорание лакокрасочных покрытий самолетов, воспламенение чехлов, шторок в кабинах самолетов,

парашютных сумок, ветоши и других материалов. Степень поражения любого материала под действием светового излучения определяют температурой его нагрева. Она (при одном и том же световом импульсе) зависит от многих факторов: коэффициента поглощения, физических свойств (плотности, теплоемкости, теплопроводности) и толщины магериала, характера обработки его поверхности, содержания влаги и других факторов.

Материалы темного цвета больше поглощают световых лучей, чем светлые, а поэтому повреждаются быстрее. Так, черное сукно поглощает 99% падающей световой энергии, материал цвета хаки — 60%, белая ткань — 25%. Предметы, окрашенные черной краской, поглощают около 96% светового излучения, а белой краской — 18%; красная и коричневая краска — около 70%, высохшая на солнце трава — 80%; кожа человека — около 65% и т. д.

Тонкие дюралевые обшивки под действием светового излучения на близких расстояниях могут сильно нагреваться (на сотни градусов).

У толстых металлических пластин (броня танков, кораблей и других предметов вооружения) за сравнительно короткое время материал не успевает прогреться на всю глубину одинаково, т. е. он прогревается неравномерно. Наибольшую температуру будет иметь освещаемая поверхность, ее также можно подсчитать. Однако определить степень поражения толстых пластин по величине температуры нагрева намного труднее, чем тонких.

Поскольку поражение тканевых материалов также зависит от многих факторов, температуру их нагрева определить сложно. Что же показали многочисленные опытные данные в США о поражающем действии светового излучения ядерного взрыва на тканевые материалы? Ткани из легких материалов повреждаются при меньшем световом импульсе, чем ткани, изготовленные из тяжелых материалов. Световой импульс, разрушающий ткани, приблизительно пропорционален весу ткани на единицу площади. Шерсть оказывает большее сопротивление воздействию светового излучения, чем хлопок или искусственное волокно; а они легче поддаются воздействию светового излучения, нежели нейлон.

В связи с возможностью возникновения пожаров изучаются величины световых импульсов, воспламеняющих различные материалы. Эти величины световых импульсов для большинства материалов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Величины световых импульсов (в кал/см²), при которых происходит воспламенение различных материалов при взрыве ядерных зарядов мощностью 20 тыс. т и 10 млн. т

Материал	Световой импульс в кал/см²	
	заряд мощностью 20 тыс т	заряд мощностью 10 млн т
Обрывки газетной бумаги	2	4
Сосновая стружка	5	12
Сухая трава	5	10
Сухая гнилая древесина	4	9
Неокрашенная древесина	10	15
Хлопчатобумажная серая ткань	8	16
Черная саржа	1	2
Вискозный габардин (черный)	3	6
Прорезиненный брезент (серый)	16	28
Хлопчатобумажная белая ткань	15	30

Чем выше тротиловый эквивалент, тем большая величина светового импульса требуется для воспламенения материала. При большой мощности взрыва облучение светом объекта длится дольше. За это время часть тепла с поверхности освещаемого объекта успевает проникнуть в глубь материала за счет его теплопроводности.

В условиях города или населенного пункта под действием светового излучения могут возникнуть пожары из-за воспламенения деревянных построек, заборов, сараев, складов древесины, тары и т. д. Наиболее опасны в пожарном отношении горючие материалы: сено, солома, стружка, обрывки газетной бумаги, гнилая древесина и др.

В иностранной печати отмечается, что возникновение пожаров от светового излучения при воздушном взрыве ядерного заряда мощностью 20 тыс. т наиболее вероятно в зоне до 3 км от его эпицентра. Считается маловероятным, чтобы пожар начался с верхних поверхностей строений, особенно если они окрашены в белый цвет.

Главная опасность — это загорание материалов внутри зданий (занавесей на окнах, обоев, ковров, одежды, обивки на мебели и проч.) под действием светового излучения через окна. Примерно 80—90% светового излучения пропускается обычным оконным стеклом. А для воспламенения тюлевых занавесей требуется световой импульс в 12—15 кал/см^2. Большинство сортов хозяйственных тканей загорается при световом импульсе, равном примерно 10 кал/см^2.

Как указывается в иностранной печати, в ходе ядерных испытаний подтвердилось, что огнестойкие материалы для внутренней отделки домов уменьшают число очагов пожара. Во время испытаний два одинаковых дома подверглись воздействию светового импульса в 17 кал/см^2. В одном доме внутренние стены обили искусственным шелком, на полу постелили хлопчатобумажные коврики, а на окнах повесили занавески. После взрыва пламя сразу же охватило этот дом и он полностью сгорел. В другом доме стены обили виниловой пластмассой, а коврик и занавески были шерстяные. Огонь и в этом доме вспыхнул во многих местах, однако пожарная группа (вошедшая в дом через час) ликвидировала пожар.

Таким образом, от воздействия светового излучения в помещениях (окна которых обращены в сторону взрыва) могут возникнуть многие быстро разгорающиеся очаги пожара.

В городах и населенных пунктах пожары могут быть также от разрушения печей, коротких замыканий в электросети, разрушения газопроводов и т. п. Однако количество пожаров и общая площадь, пострадавшая от огня, будет зависеть от многих причин: от рельефа местности, скученности зданий, направления ветра, метеорологических условий и т. д. Поэтому трудно заранее определить общую площадь, пострадавшую от огня. Например, при атомной бомбардировке в Хиросиме, расположенной на равнинной местности и имевшей большую плотность застройки, возникло одновременно много очагов пожаров. Дым и горячий воздух, поднимаясь вверх, вызывали сильную тягу к центру пожара, которая еще больше усилила пожар. Скорость ветра достигала 60 км/час. Он оставался на таком уровне в течение 2—3 часов после взрыва. Вот почему через 20 мин. после взрыва возникла так называемая «огненная буря». Она

утихла только через 6 часов. Причем какую-то роль в этом сыграл сильный дождь, последовавший за взрывом. Дождь, сопровождавший «огненную бурю»,— следствие конденсации влаги на твердых частицах, поднимавшихся с дымом при их попадании в область более холодного воздуха.

Узкие улицы и сплошные завалы на них не давали возможности населению выйти из района, охваченного пожаром. Вот почему половина смертных случаев была вызвана огнем, а три четверти пострадавших от взрыва получили ожоги. В условиях дезорганизованной пожарной службы пожары не могли быть потушены.

В Хиросиме около 70% пожарного оборудования было уничтожено из-за разрушения пожарных депо и 80% их личного состава не могли принять участие в тушении пожара. Разрастанию пожаров способствовал еще тот факт, что в Хиросиме и Нагасаки была почти полностью разрушена система водоснабжения. Вот почему пожаром были уничтожены почти все деревянные постройки в зоне радиусом более 3 км от эпицентра взрыва. Возникновению и распространению пожаров способствовала также сухая погода, которая была длительный период перед ядерным взрывом. Для воспламенения влажных материалов требуются световые импульсы в несколько раз больше (в два-три и более в зависимости от влажности материала), чем для этих же сухих материалов. В дождливую погоду площадь поражения световым излучением будет меньше, чем в сухую.

Нагасаки расположен на холмистой местности, и «огненная буря» в городе не возникла. Холмы препятствовали распространению огня, хотя скорость ветра и достигала 55 км/час, и такой ветер дул два часа после взрыва. Холмы сыграли такую же роль, как и просеки, препятствующие распространению огня в лесу. Холмы создавали также тень от прямых лучей света огненного шара и уменьшали количество очагов пожаров.

«Огненная буря» отнюдь не характерная особенность, присущая только ядерному взрыву. Такие же «огненные бури» были при больших лесных пожарах в США и особенно в Германии и Японии в годы второй мировой войны после воздушных налетов, когда сбрасывалось большое количество фугасных и зажигательных бомб. Например, при бомбардировке Гамбурга во время вто-

рой мировой войны одновременно горело 16 тысяч домов, температура воздуха в районе пожара достигала 800°С. Воздух в некоторых убежищах сильно нагрелся и люди погибли от теплового удара. Те же, кто пытался бежать по кварталам, охваченным пожаром, сгорели заживо. Еще до этого много людей погибло от отравления окисью углерода в дыме пожарищ (если в воздухе находится 0,5% окиси углерода, то человек умирает в течение 10 мин.). Буря срывала двери убежищ, после чего туда проникала окись углерода. Всего в Гамбурге погибло около 100 тысяч человек.

По мнению иностранных специалистов, располагать войска во время войны в больших городах нужно с большой осторожностью. Указывается, что распространение пожаров в городе зависит от многих факторов: погоды, характера местности, плотности застройки и огнестойкости конструкций зданий и др.

Исследования в США во время ядерных испытаний показали, что скопление возгораемого мусора вблизи деревянных зданий — реальная угроза возникновения пожара.

В условиях применения ядерного оружия очень важно соблюдать правила противопожарной безопасности. Лесные пожары возникают главным образом от воспламенения сухих листьев, травы и сухого гнилого дерева под воздействием светового излучения. На возникновение лесных пожаров влияют время года и метеорологические условия. Сухая погода, сильный ветер и ровная местность способствуют распространению пожаров. Летом пожары более вероятны, чем зимой. Вероятность возникновения пожаров в лиственных лесах, особенно когда деревья имеют зеленые листья, меньше, чем в хвойном лесу.

Особенности защиты от светового излучения ядерного взрыва. При ядерном взрыве на открытой местности личный состав получает комбинированное поражение. Поэтому противоатомная защита включает меры защиты от всех поражающих факторов. Однако, предусматривая их, необходимо знать и особенности защиты от каждого фактора.

Защита от светового излучения более проста, чем от других поражающих факторов. Световое излучение распространяется прямолинейно. Любая непрозрачная

преграда, любой объект, создающий тень, могут служить защитой от него.

Используя для укрытия окопы, ямы, канавы, воронки, бугры, насыпи, тяжелые образцы военной техники (танки, гусеничные тягачи, бронетранспортеры и др.), кроны деревьев и т. п., можно значительно ослабить или вовсе избежать ожогов от светового излучения. Хорошей

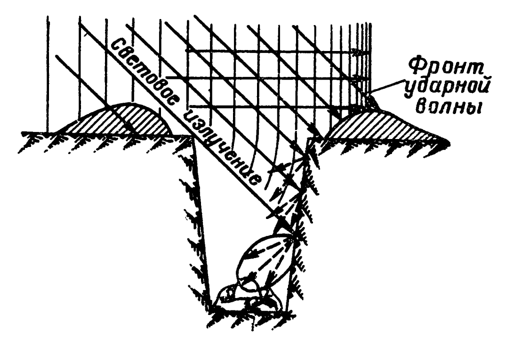


Рис. 40. В открытой траншее необходимо лежать лицом вниз во избежание быть пораженным световым излучением, отраженным от крутости траншеи

защитой от светового излучения служат и помещения кораблей.

В некоторых случаях человек может получить поражение и от светового излучения, отраженного различными предметами. Например, за счет отраженной от крутости траншеи части светового излучения человеку на дне траншеи (рис. 40) могут быть нанесены поражения (ожоги, воспламенение одежды). В открытом окопе или траншее в момент ядерного взрыва лежите лицом вниз, как это показано на рис. 40.

Действие отраженной части светового излучения может усилиться при наличии облаков и снежного покрова. По мнению иностранных военных специалистов, следует учитывать роль отраженного светового излучения в поражающем действии, а защитные свойства инженерных сооружений повышать крытыми участками траншей и окопов.

При организации защиты от светового излучения ядерного взрыва следует знать, что излучение световой

энергии огненным шаром и накопление светового импульса происходит неравномерно. Чем меньше тротиловый эквивалент ядерного заряда, тем за более короткое время шар испускает, а объект получает энергию светового излучения. До 75% светового импульса попадает на объект примерно за первую треть времени свечения огненного шара. Оно измеряется секундами. Увидев вспышку, без всякого промедления займите ближайшее убежище в двух-трех шагах. Если никакого убежища рядом нет, бежать и искать его нельзя. Быстро ложитесь на землю лицом вниз, ногами в сторону взрыва. Кисти рук спрячьте под себя, глаза закройте во избежание их поражения. Соблюдая эти правила, вы предохраните открытые участки тела от поражения световым излучением и уменьшите поражение от ударной волны.

Естественные туманы и облака ослабляют световое излучение ядерного взрыва. Однако наличие их над полем боя — явление случайное. Естественно, возникает вопрос: нельзя ли их создать искусственно, когда это необходимо для защиты от светового излучения. В военном деле уже давно применяют маскирующие дымовые завесы (плотные туманы в атмосфере от дымообразующих веществ). Указывается, что при ядерном взрыве они, как и естественные туманы, ослабляют световое излучение.

За рубежом проводились опыты с искусственными туманами. Военные специалисты стремились выявить степень ослабления ими светового излучения. За 10 мин. до ядерного взрыва дымовые машины производили дымопуск. Масляный дым ослабил воздействие светового излучения на различную технику на 65—90% (в зависимости от расстояния до эпицентра взрыва). По заключению американских военных специалистов, световой импульс в зоне значительного избыточного давления снизился дымовой завесой до 3 кал/см^2. Эта величина импульса — порог средней тяжести ожогов открытых участков тела и воспламенения горючих материалов. Плотность дымовой завесы (при расходе масла 440—620 литров на квадратный километр) примерно соответствовала плотности дымов для маскировки. Однако считается, что для эффективного ослабления светового излучения концентрация дыма должна быть увеличена еще в 1,5—2 раза. Ставились опыты и с другими

дымами. В ряде случаев они оказались эффективнее масляных туманов.

Проводятся в США и опыты по быстрой постановке дымовых завес. Обычно для этого используют выливные приборы, подвешиваемые к самолетам. Вот каков принцип действия одного из таких приборов.

Прибор заполняется жидкой дымовой смесью и большим количеством полых алюминиевых шариков. При его опорожнении часть дыма образуется на высоте полета самолета, а другая — на различных высотах из-за разбрызгивания дымовой смеси шариками. Третья часть дыма создается у земли, при ударе шариков о грунт и выбрасывании ими остатков жидкости. Сообщалось, что таким способом самолет может поставить за 25 сек. сплошную вертикальную дымовую завесу высотой 160 м. Еще одно направление в защите от светового излучения — это специальные средства защиты органов зрения, весьма чувствительных к яркому свету. Здесь, как отмечалось в иностранной печати, используются достижения не только оптики, но и автоматики. В США уже несколько лет разрабатываются автоматические приборы для защиты глаз. В чем принцип их работы? Световая вспышка воспринимается светочувствительным элементом, и он приводит в действие специальный механизм, в очки вводится светонепроницаемый материал. Один из способов затемнения — впрыскивание графита в виде суспензии между двумя стеклянными пластинками. Графит хранится в небольшом резервуарчике, закрытом тонкой мембраной, ее разрывает давление газов при взрыве маленького заряда. Подобный прибор проходил испытания в танке и в телескопических при-



Рис. 41. Очки для защиты глаз от светового излучения

целах. В США считают существенным его недостатком одноразовость действия.

Встречалось в печати США описание и других защитных очков, для морских летчиков (рис. 41). Специальная светонепроницаемая жидкость поступает здесь из резервуарчика, размещенного вместе с фотоэлементом в шлеме над стеклами очков.

Во многих странах ведутся работы по созданию огнестойких материалов для защиты военной техники и обмундирования личного состава от светового излучения.

В следующей главе мы расскажем о проникающей радиации и средствах защиты от этого поражающего фактора ракетно-ядерного оружия.

V. ПРОНИКАЮЩАЯ РАДИАЦИЯ

Проникающая радиация — поражающий фактор, характерный только для ядерного взрыва[1]. Это поток гамма-лучей и нейтронов из зоны взрыва ядерного боеприпаса.

1. ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ. Гамма-излучение проникающей радиации возникает в момент взрыва в ходе реакции деления и после взрыва от радиоактивного распада продуктов деления и радиационного захвата нейтронов ядрами атомов различных элементов. Оно включает: мгновенное гамма-излучение ядер урана или плутония в момент деления; осколочное гамма-излучение осколков деления; захватное гамма-излучение, возникающее при захвате нейтронов атомами в основном азота воздуха.

Ядра атомов урана и плутония в момент деления испускают несколько квантов с различной энергией. Общая энергия гамма-квантов деления в среднем 7,8 Мэв на каждое разделившееся ядро. Однако роль мгновенного гамма-излучения в накоплении дозы невелика. Очень мало́ время его существования. Кроме того, большая часть этого излучения поглощается элементами боеприпаса.

Осколочное гамма-излучение испускается в основном уже после разлета вещества боеприпаса. 2 Мэв — сред-

---

[1] В иностранной литературе проникающую радиацию называют начальным ядерным излучением.

няя энергия гамма-квантов осколков деления в первые секунды после взрыва. Всего освобождается осколками деления за интервал времени 10 сек. 1,8 Мэв на каждое разделившееся ядро. Интенсивность излучения быстро уменьшается из-за распада короткоживущих изотопов. Если через 1 сек. после взрыва принять интенсивность за 100%, то за 10 сек. она снизится до 15% за счет понижения активности радиоактивных осколков деления.

На уменьшение интенсивности осколочного гамма-излучения у поверхности земли влияет и подъем облака взрыва. За первые 10 сек. облако вместе с продуктами взрыва поднимается на высоту 1000—1500 м в зависимости от мощности взрыва. При этом заметно увеличивается расстояние от источника излучения до земли и возрастает ослабление гамма-излучения воздухом. Действие осколочного гамма-излучения на наземные объекты продолжается сравнительно недолго (10—15 сек.).

Захватное гамма-излучение возникает при поглощении тепловых нейтронов ядрами атомов азота по реакциям:

$$N^{14} + n \rightarrow C^{14} + p;$$
$$N^{14} + n \rightarrow N^{15} + \gamma.$$

В первом случае образуются ядро радиоактивного изотопа углерода[1] и протон, а во втором — ядро атома нерадиоактивного изотопа азота и гамма-кванты.

Вероятность реакции радиационного захвата значительно меньше, чем реакции с образованием протона. Но доля захватного гамма-излучения в общей дозе может быть весьма существенной.

Полная энергия всех квантов, испускаемых при одном захвате, 10,8 Мэв. Расчеты показывают, что при поглощении всех нейтронов азотом воздуха выделяется гамма-излучение с общей энергией 1—1,3 Мэв на каждое разделившееся ядро урана или плутония. Очень сложен спектр захватного гамма-излучения у большинства веществ. Характерно в нем преобладание квантов большой энергии.

[1] Углерод-14 бета-активное вещество; он медленно распадается (T=5600 лет), испуская бета-частицы с энергией 0,15 Мэв.

Время действия захватного гамма-излучения — доли секунды. Интенсивность излучения зависит от количества азота в воздухе (т. е. от плотности воздуха), числа освобождающихся нейтронов (мощности взрыва), конструктивных особенностей ядерных боеприпасов и других факторов. Большинство квантов захватного излучения обладает более высокой энергией по сравнению с квантами осколочного гамма-излучения, поэтому их проникающая способность больше. С увеличением расстояния от центра взрыва происходит своеобразная фильтрация излучения: более мягкое осколочное излучение поглощается раньше, и доля его все более уменьшается. Практически на больших расстояниях проявляется действие только захватного гамма-излучения.

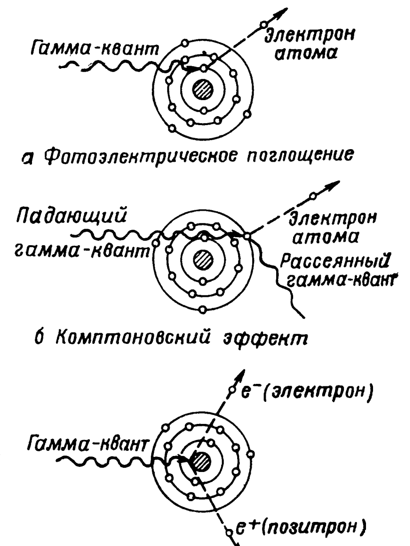


Рис. 42. Взаимодействие гамма-излучения с веществом

Каково взаимодействие гамма-квантов с веществом среды? Различают три основных вида взаимодействия (*а*, *б*, *в*) (рис. 42): фотоэлектрическое поглощение (фотоэффект); комптоновское рассеяние (комптон-эффект); образование пары электрон-позитрон.

Фотоэлектрическое поглощение — это такое взаимодействие гамма-квантов с электронами атома, когда происходит полное поглощение квантов. Оно характерно для гамма-квантов малой энергии.

При комптоновском рассеянии[1] гамма-квант передает электрону атома только часть своей энергии, остаток ее квант уносит с собой, двигаясь уже в другом на-

---

[1] Описываемое явление впервые было рассмотрено американским физиком А. Комптоном при исследовании рентгеновских лучей.

правлении. После комптоновского взаимодействия количество гамма-квантов не уменьшается, но изменяется их энергия и направление движения. Рассеяние квантов происходит многократно и заканчивается фотоэлектрическим поглощением. Наличие рассеянного излучения усложняет расчет ослабления при прохождении гамма-лучей через преграды.

В легких веществах (воздух, вода, дерево, бетон и др.) комптон-эффект — преобладающий процесс взаимодействия гамма-квантов в широком диапазоне их энергий (от 0,05 до 10 Мэв и более).

Если энергия квантов превышает 1,02 Мэв, возможно взаимодействие их с ядрами атомов, гамма-квант преобразуется в пару частиц — электрон и позитрон. Однако данный процесс заметен лишь в тяжелых материалах при больших энергиях гамма-квантов.

Ионизация среды производится главным образом вторичными электронами, появляющимися от всех рассмотренных процессов. Сами же гамма-кванты обладают слабой ионизирующей способностью.

2. НЕЙТРОННАЯ РАДИАЦИЯ. Нейтроны, образующиеся от реакции деления (т. е. при взрыве боеприпасов с зарядом из урана или плутония) подразделяют на мгновенные и запаздывающие.

Высвобождение мгновенных нейтронов происходит в процессе деления ядер и продолжается всего лишь миллионные доли секунды. Средняя энергия таких нейтронов около 2 Мэв.

Веществом оболочки боеприпаса нейтроны практически не поглощаются, так как оболочка разлетается очень быстро. При этом образовавшиеся нейтроны в основном быстрые, а они большинством материалов поглощаются плохо. Проходя через оболочку, нейтроны замедляются и распределяются в атмосфере вблизи центра взрыва, образуя своеобразное нейтронное облако высокой концентрации. Часть быстрых нейтронов, успевшая проникнуть через оболочку без замедления, распространяется на большие расстояния и производит поражающее действие.

Запаздывающие нейтроны испускают некоторые осколки деления (после взрыва), поэтому они не поглощаются и не замедляются веществом боеприпаса. При делении ядер урана-235 тепловыми нейтронами запазды-

вающих нейтронов возникает 0,73% от общего числа нейтронов, а при делении ядер плутония — 0,36%. Энергия их 0,4—0,6 Мэв. Быстрым химическим анализом продуктов деления были выявлены изотопы, испускающие запаздывающие нейтроны. Это изотопы брома Br^{87} (период полураспада $T = 55$ сек.) и Br^{89} ($T = 4,5$ сек.),

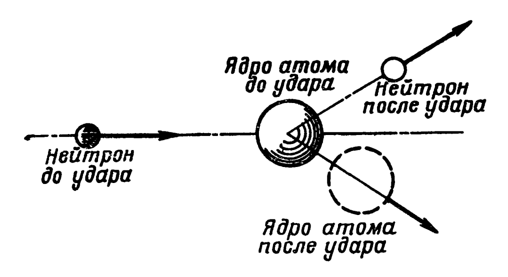


Рис. 43. Взаимодействие нейтрона с веществом

йода J^{137} ($T = 22$ сек.) и другие еще более короткоживущие изотопы. Доля запаздывающих нейтронов мала, но их влияние на дозу нейтронной радиации может быть значительным. На больших расстояниях от центра взрыва доза запаздывающих нейтронов может быть сравнима с дозой мгновенных нейтронов деления.

При ядерном взрыве количество нейтронов, выходящих за пределы оболочки заряда, зависит от мощности взрыва и конструкции заряда, размеров и плотности материала оболочки и заряда взрывчатого вещества.

Прохождение нейтронов через вещество сопровождается двумя процессами: рассеянием (упругим и неупругим) и поглощением.

Нейтроны не имеют электрического заряда, поэтому свободно проходят через электронную оболочку атомов. Лишь когда нейтрон окажется вблизи ядра, между ними возникает сильное взаимодействие.

При рассеянии (рис. 43) нейтрон передает ядру часть своей энергии и отклоняется от первоначального направления движения. Ядро, с которым нейтрон взаимодействовал («ядро отдачи»), начинает двигаться и ионизирует другие атомы. Ионизация вещества при прохождении нейтронов и обусловлена действием ядер отдачи. Непосредственно нейтроны ионов не создают.

Из-за многократных соударений с атомными ядрами движение нейтрона все более и более замедляется. Его путь (траектория) приобретает вид сложной ломаной линии. Процесс замедления продолжается до тех пор, пока скорость нейтрона не сравняется со скоростью беспорядочного теплового движения атомов и молекул среды. Такие нейтроны называют тепловыми. При комнатной температуре их энергия равна 0,025 эв. В зависимости от кинетической энергии нейтроны условно делят на быстрые (энергия более 0,5 Мэв), промежуточные (от 100 эв до 0,5 Мэв) и медленные, энергия которых менее 100 эв.

Нейтроны, проходя через вещество, не только рассеиваются, но и захватываются ядрами атомов. Процесс захвата сопровождается ядерными реакциями, а они приводят к образованию новых ядер. Эти ядра могут быть стабильными или радиоактивными. Приведем примеры некоторых реакций.

а) Реакция радиационного захвата — поглощение нейтрона ядром с последующим испусканием гамма-излучения:

$$U^{235} + n \rightarrow U^{236} + \gamma;$$
$$H^1 + n \rightarrow H^2 + \gamma.$$

Реакция радиационного захвата наиболее распространена при прохождении медленных нейтронов.

б) Захват нейтрона с испусканием протона или альфа-частицы. Реакция происходит под действием главным образом быстрых нейтронов. Важны для практики две реакции, успешно протекающие на медленных нейтронах: реакция образования трития ($Li^6 + n \rightarrow H^3 + \alpha$) и реакция, используемая для регистрации медленных нейтронов с помощью борных счетчиков ($B^{10} + n \rightarrow Li^7 + \alpha$).

в) При действии нейтронов очень большой энергии возможна реакция с выбрасыванием двух нейтронов. Например,

$$U^{238} + n \rightarrow U^{237} + 2n.$$

Процессы рассеяния и поглощения происходят одновременно, но с разной вероятностью. Рассеяние характерно для быстрых нейтронов, а поглощение — для медленных. Из этого следует, что при прохождении быст-

рых нейтронов через вещество поглощение их наступает в основном уже после того, как они будут замедлены в результате многократного рассеяния.

3. ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ. Биологическое действие ядерных излучений связано с количеством энергии, поглощенной тканью живого организма. Эта энергия расходуется в основном на ионизацию атомов и молекул.

Энергию любого ионизирующего излучения, поглощенную в единице массы облучаемого вещества, называют поглощенной дозой излучения или просто дозой излучения. Поскольку на образование каждой пары ионов в любом веществе затрачивают вполне определенную работу, то по величине произведенной ионизации можно судить о величине дозы, и наоборот.

Величина дозы прямо пропорциональна интенсивности излучения и продолжительности его воздействия. Доза зависит также от величины энергии частиц (или квантов) и природы облучаемого вещества. Практически дозу определяют по числу пар ионов, образующихся в определенном объеме воздуха. Ионизационный эффект измеряют приборами.

В соответствии с Международной системой единиц государственным общесоюзным стандартом ГОСТ 8848—63 установлена единица поглощенной дозы — джоуль на килограмм.

Джоуль на килограмм — поглощенная доза, измеряемая энергией в 1 дж. любого вида ионизирующего излучения, переданной массе в 1 кг облучаемого вещества.

ГОСТ допускает использование и внесистемной единицы поглощенной дозы излучения — рад, широко используемой на практике. 1 рад соответствует поглощению 100 эрг/г; 1 рад = 0,01 дж/кг.

Доза в 1 рад означает, что в каждом грамме вещества. подвергшегося облучению, поглощено 100 эрг энергии. Достоинство рада (или дж/кг) как дозиметрической единицы в том, что ею можно пользоваться для измерения дозы любого вида излучений в любой среде.

Для измерения ионизирующего действия рентгеновского и гамма-излучения по-прежнему широко используют внесистемную единицу — рентген (р).

Рентген — это доза рентгеновского или гамма-излучения, под действием которого в 1 см^3 сухого воздуха при нормальных условиях (температура 0° С и давление 760 мм рт. ст.) создаются ионы, несущие одну электростатическую единицу количества электричества каждого знака.

Заряд иона практически равен заряду электрона, т. е. $4{,}8 \cdot 10^{-10}$ электростатических единиц. В таком случае дозе в 1 р соответствует образование $\frac{1}{4{,}8 \cdot 10^{-10}} = 2{,}08 \cdot 10^9$ пар ионов в 1 см^3 воздуха.

На образование пары ионов в воздухе расходуется в среднем 34 эв. Если будет создано $2{,}08 \cdot 10^9$ пар ионов, то энергия, поглощенная в 1 см^3, будет равна 0,114 эрг, а поглощенная в 1 г воздуха — 88 эрг.

Доза, накапливаемая в течение единицы времени, называется мощностью дозы и обозначается буквой Р. Обычно мощность дозы гамма-излучения измеряют в рентгенах в час (реже рентгенах в секунду), а поглощенной дозы — рад в час или рад в секунду.

При равных затратах энергии на ионизацию отдельные виды излучения производят различное биологическое действие или, как говорят, обладают различной биологической эффективностью. Биологическое действие зависит от плотности ионизации и при равных дозах излучения оно сильнее там, где выше плотность ионизации. В связи с этим существует понятие о биологической дозе, единица ее бэр — биологический эквивалент рентгена. Бэр — это доза излучения (любого вида), действие которой на ткани живого организма эквивалентно действию 1 р гамма-излучения [1].

4. ДОЗА ПРОНИКАЮЩЕЙ РАДИАЦИИ. Общую дозу проникающей радиации определяют суммой дозы гамма-излучения, измеренной в рентгенах, и дозы нейтронов, выраженной в бэр. Соотношение этих двух компонентов непостоянно и зависит от мощности взрыва и расстояния. С уменьшением мощности взрыва доля нейтронов возрастает.

Доза гамма-излучения проникающей радиации быстро уменьшается с увеличением расстояния за счет

[1] Иногда бэр определяют как биологический эквивалент рада. В этом случае 1 бэр соответствует дозе в 1 рад гамма-излучения.

двух одновременно действующих факторов: квадрата расстояния и поглощения массами воздуха.

При воздушном взрыве часто указывают расстояние от эпицентра взрыва ($R_э$), поэтому для определения дозы необходимо рассчитывать расстояние от центра (R) с учетом высоты взрыва (H)

$$R = \sqrt{R_э^2 + H^2}.$$

Если $R_э$ в несколько раз больше H, то влияние высоты взрыва можно не учитывать и считать $R \approx R_э$.

Уменьшение дозы из-за поглощения и рассеяния гамма-квантов в воздухе происходит весьма эффективно. Если, например, расстояние возрастет от 1 до 1,5 км, т. е. в полтора раза, то доза уменьшится приблизительно в 15 раз.

С изменением тротилового эквивалента боеприпаса меняется и количество испускаемых гамма-квантов. Можно полагать, что общее количество гамма-излучения пропорционально числу разделившихся ядер, а следовательно, и мощности взрыва. Однако испытания в США показали, что доза гамма-излучения возрастает не пропорционально мощности взрыва, а значительно сильнее. Например, при взрыве мощностью 1 тыс. т доза гамма-излучения на расстоянии 1500 м равна 10 р, а при взрыве боеприпаса калибром 100 тыс. т доза на том же расстоянии — 1500 р, т. е. она увеличилась в 150 раз. Такая зависимость дозы от расстояния объясняется влиянием ударной волны, движущейся от места взрыва во время распространения гамма-квантов.

Теоретически было установлено и опытами в США подтверждено, что поглощение гамма-лучей на пути от центра взрыва до рассматриваемой точки зависит от перераспределения масс воздуха, которое вызывается проходящей ударной волной.

Воздух, вовлеченный в движение, оказывается сосредоточенным в тонком слое около фронта ударной волны. При этом за фронтом ударной волны образуется полость с малой плотностью воздуха. Эта полость существует некоторое время и после прохождения ударной волны. Восстановление нормальной плотности воздуха происходит длительное время, превышающее время испускания большей части гамма-излучения. Внутри по-

лости гамма-излучение практически не ослабляется, а при прохождении через тонкий слой воздуха у фронта ударной волны ослабление невелико.

Для расчета дозы гамма-излучения ядерного взрыва предложена формула

$$Д = \frac{A}{R^2} e^{-R/\lambda},$$

где A — множитель, учитывающий мощность взрыва и влияние ударной волны;

R — расстояние до центра взрыва в метрах;

λ — длина пробега гамма-квантов в воздухе; она зависит от плотности среды и определяется опытным путем.

Наземный ядерный взрыв сопровождается более сильной ударной волной, влияние ее на распространение гамма-лучей более существенное и величина дозы больше, чем при воздушном взрыве. Поэтому при вычислении дозы осколочного гамма-излучения в случае воздушного взрыва используют формулу

$$A = 1{,}4 \cdot 10^9 q \cdot (1 + 0{,}2 \cdot q^{0{,}65}),$$

где q — тротиловый эквивалент в тысячах тонн.

Множитель в скобках учитывает влияние ударной волны на распространение гамма-лучей в воздухе. При взрывах малой мощности он близок к единице, а доза прямо пропорциональна калибру боеприпаса.

В воздухе нормальной плотности $\lambda = 250$ м, при других условиях $\lambda = \frac{300}{\rho}$, где ρ — плотность воздуха в кг/м^3.

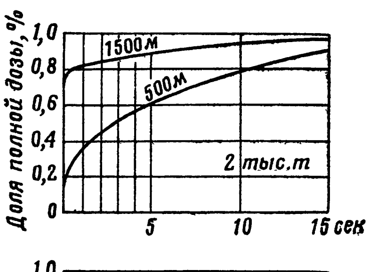
Интенсивность гамма-излучения в данной точке пространства зависит в основном от мощности взрыва и расстояния от центра взрыва. Влияние этих факторов проявляется в том, что накопление дозы по времени происходит весьма неравномерно. Чем больше расстояние, тем быстрее накапливается полная доза. С увеличением расстояния возрастает роль захватного гамма-излучения, а оно существует не более 0,3 сек. С увеличением мощности взрыва наблюдается более длительное накопление полной дозы. Это объясняется тем, что при мощных взрывах возрастает время действия полости

разрежения, создаваемой ударной волной. Так, например, за первую секунду на расстоянии 1500 м накапливается до 80% полной дозы, если мощность взрыва 200 тыс. т, и лишь 30% при взрыве в 2 тыс. т. Кривые, приведенные на рис. 44, показывают скорость накопления дозы гамма-излучения для некоторых частных случаев.

Величина дозы определяется по графикам на рис. 45.

Для расчета дозы нейтронов используют формулы, аналогичные по своей структуре для расчета дозы гамма-излучения. Однако влияние ударной волны здесь не учитывается, и поэтому

$$Д_н = \frac{1{,}6 \cdot 10^{10} q}{R^2} e^{-R/190} \text{ бэр},$$



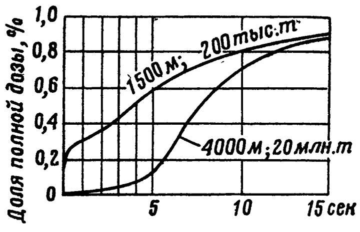


Рис. 44. Скорость накопления дозы гамма-излучения

Более удобно определять дозу нейтронов по графикам на рис. 46.

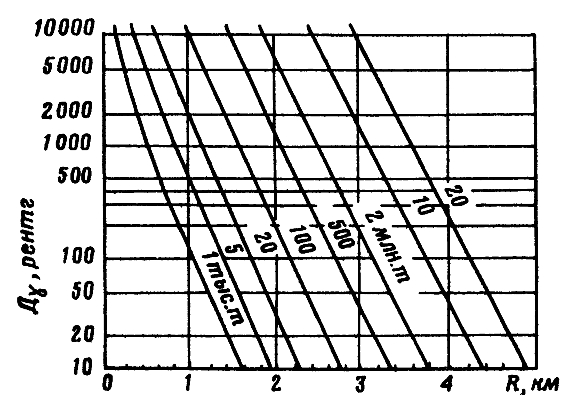


Рис. 45. Доза гамма-излучения в зависимости от расстояния

Зависимость суммарной дозы проникающей радиации от тротилового эквивалента и расстояния от центра взрыва можно определить по графикам на рис. 47.

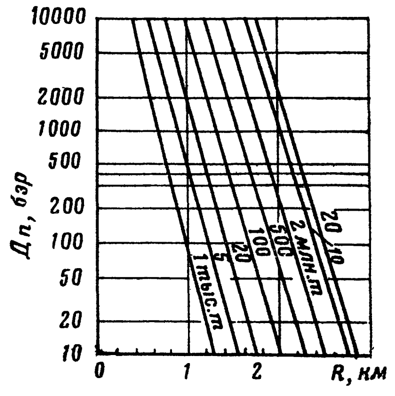


Рис. 46. Доза нейтронов в зависимости от расстояния

В иностранной печати отмечается, что ввиду разнообразия типов ядерного оружия и различия в характеристиках гамма-лучей и нейтронов, образующихся в процессе реакций деления и синтеза, дозы радиации, определенные на основе графиков, а также и рассчитанные по формулам, не могут быть точными. Однако такие приближенные данные, по-видимому, отвечают требованиям практики.

При взрыве на большой высоте испускаемые гамма-лучи и нейтроны распространяются в среде очень небольшой плотности и, следовательно, мало ослабляются

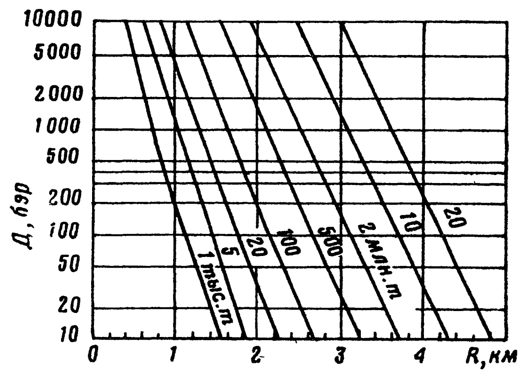


Рис. 47. Суммарная доза проникающей радиации

на своем пути. В космическом пространстве воздух практически отсутствует, и ослабление излучений из-за взаимодействия с атомами и молекулами среды можно не

учитывать. С уменьшением плотности воздуха длина пробега гамма-квантов и нейтронов возрастает:

$$\lambda = \lambda_0 \frac{\rho_0}{\rho},$$

где λ_0 — длина пробега в воздухе с плотностью ρ_0 (обычно у земли);

λ — длина пробега на высоте H, где плотность воздуха ρ.

Если у земли $\lambda = 250$ м, то на высоте 10 км $\lambda = 740$ м, а на высоте 20 км — уже 3400 м.

Расчеты американских военных специалистов показывают, что та доза гамма-излучения, которая может быть получена при взрыве у земли на расстоянии 1 км, при взрыве на высоте 20 км будет создана на расстоянии примерно 4 км.

В приземном слое воздуха на больших расстояниях от центра взрыва доза нейтронов меньше дозы гамма-излучения, так как в воздухе нейтроны сильно поглощаются. На большой высоте, где плотность воздуха незначительна, доза нейтронов на больших расстояниях от центра взрыва может в несколько раз превосходить дозу гамма-излучения.

5. ОСЛАБЛЕНИЕ ДОЗЫ ПРОНИКАЮЩЕЙ РАДИАЦИИ. Точный расчет ослабления доз радиации различными защитными преградами вызывает большие трудности. Ведь гамма-кванты и нейтроны имеют самую различную энергию, и она непрерывно изменяется в процессе их прохождения через преграду. Расчет усложняется и наличием многократно рассеянных квантов и нейтронов.

При ядерном взрыве на объект падает широкий поток прямого и рассеянного излучения. По мере прохождения пучка через защитную преграду в нем возрастает доля рассеянных квантов и нейтронов, из них при больших толщах преград будет состоять весь поток излучения.

Интенсивность прямого потока гамма-лучей изменяется по экспоненциальному закону

$$I_x = I_0 e^{-\mu x},$$

где I_0 — интенсивность излучения перед преградой,
I_x — то же за преградой толщиной X,
μ — линейный коэффициент ослабления.

Величину рассеянного излучения учитывают специальным коэффициентом. Зависит он от энергии гамма-квантов и от характера преграды.

Приближенный расчет ослабления дозы излучения какой-либо преградой можно произвести, пользуясь данными о слое половинного ослабления. Толщина этого слоя, определяемая экспериментально, обеспечивает ослабление дозы в 2 раза. В таком случае формула для расчета ослабления дозы получит вид

$$Д = Д_0 2^{-h/d}.$$

Степень ослабления $К = \frac{Д_0}{Д} = 2^{h/d}$,

где $Д_0$ — доза излучения перед преградой;
$Д$ — доза после прохождения преграды толщиной h;
d — слой половинного ослабления.

Для гамма-излучения ядерного взрыва толщина слоя половинного ослабления приводится в таблице 5.

Таблица 5

Слой половинного ослабления гамма-лучей

Материал	d, см
Грунт	14
Бетон	10
Дерево	25
Сталь	2,8

Степень ослабления гамма-излучения зависит от энергии гамма-квантов. Приближенно можно считать, что у веществ с примерно одинаковым атомным номером степень ослабления прямо пропорциональна плотности вещества при данной энергии гамма-излучения. Учитывают, что плотность таких материалов, как грунт, дерево и т. п., может изменяться в 1,5—2 раза в зависимости от влажности и состава. Это также влияет на точность расчетов.

Если защитная преграда состоит из нескольких слоев различных материалов, например грунта, бетона и дерева, то подсчитывают степень ослабления для каждого слоя в отдельности и результаты перемножают.

Ослабление нейтронного потока при прохождении через какую-либо среду зависит от энергии нейтронов и от химического состава этой среды. Быстрые нейтроны почти всеми веществами поглощаются плохо, поэтому их надо сначала замедлить, а затем обеспечить поглощение.

Хорошие замедлители нейтронов — вода и другие легкие вещества. Замедленные нейтроны успешно захватываются ядрами водорода. Правда, при этом испускаются гамма-лучи. Для их ослабления слоя воды иногда может быть недостаточно. Чтобы улучшить поглощение медленных нейтронов, к воде добавляют немного бора, например, в виде борной кислоты.

Для защиты от гамма-лучей и нейтронов широко используют бетон. В состав его входит водород и другие сравнительно легкие элементы (кислород, алюминий, кремний, кальций). При прохождении через бетон нейтроны хорошо замедляются и поглощаются и эффективно ослабляется гамма-излучение.

Величина слоя половинного ослабления нейтронов зависит от энергии нейтронов. Для нейтронов со средней энергией 2 Мэв этот слой для воды — 3 см, бетона — 6—8 см.

Из-за большой проникающей способности гамма-лучей и нейтронов обычная одежда и индивидуальные средства противохимической защиты не могут предохранить человека от их воздействия.

Для защиты от проникающей радиации используют естественные укрытия и инженерные сооружения. Закрытые сооружения для защиты от воздействия ударной волны, как правило, защищают и от проникающей радиации.

В перекрытых щелях и траншеях доза проникающей радиации снижается в 25—30 раз, в блиндажах и землянках в 200—300 раз, в убежищах легкого типа более чем в 2000 раз.

Открытые траншеи и щели уменьшают дозу проникающей радиации в 10 раз и более, гамма-лучи и нейтроны сильно поглощаются крутостями траншеи. Но

значительное количество гамма-квантов и нейтронов из-за рассеяния в воздухе попадает в траншею сверху, где нет защитной преграды. Рассеянное излучение проникает и в полуоткрытые сооружения с различного рода амбразурами. Величина дозы в полуоткрытом сооружении будет зависеть от мощности взрыва и расстояния до него, а также от расположения амбразуры относительно центра взрыва и ее размеров.

6. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ. Под действием ядерных излучений во многих веществах происходят физические и химические изменения, их можно обнаружить и измерить. Непосредственная причина их — ионизация и возбуждение атомов и молекул вещества.

Для регистрации таких ядерных излучений, как гамма-лучи и нейтроны, а также альфа- и бета-частицы, широко используют процессы, возникающие в материалах и устройствах при прохождении излучения: потемнение фотопленки; изменение окраски жидких и твердых веществ; свечение (люминесценция) некоторых составов; появление ионизационного тока в газах; изменение сопротивления полупроводников.

Наиболее старый метод дозиметрии — **фотографический метод.** Именно из-за способности излучения засвечивать фотопленку в светонепроницаемой кассете и была открыта радиоактивность.

Фотографические пленки применяют для измерения доз гамма-излучения, так как плотность почернения пленки пропорциональна дозе и практически не зависит от времени облучения. С помощью фотопленок различной чувствительности измеряют дозы гамма-лучей от десятых долей рентгена до нескольких десятков тысяч. Чтобы определить дозу излучения, измеряют плотность потемнения пленки с помощью специальных приборов.

По своей конструкции фотодозиметры просты и доступны, но процесс обработки пленки весьма трудоемок. Он требует квалифицированного персонала и специального оборудования. Этим методом измеряют дозы излучения главным образом в лабораториях и на атомных предприятиях. В ряде капиталистических государств фотодозиметры используют и для индивидуального контроля облучения личного состава вооруженных сил.

Химический метод измерения доз. Исследования показали, что в некоторых веществах при воздействии на них излучения происходят необратимые изменения в химическом составе или физико-химическом состоянии. Для дозиметрии подбирают такие жидкие растворы, где результаты химических процессов могут быть обнаружены с помощью реактивов, вызывающих окрашивание раствора. При этом степень окрашивания должна быть пропорциональна дозе. Величину дозы находят путем сравнения цвета раствора с цветом контрольных заранее облученных индикаторов или цветными светофильтрами.

Химический метод дает возможность значительно быстрее, по сравнению с фотографическим, получать результаты измерений. Он более пригоден для измерения доз смешанного излучения (гамма-лучей и нейтронов). Однако чувствительность химических дозиметров к малым дозам небольшая. Поэтому используются они в основном для измерения сравнительно больших доз гамма-излучения.

Сцинтилляционный метод. Еще в начале XX века было установлено, что при прохождении альфа-, бета- или гамма-лучей через некоторые вещества возникают кратковременные вспышки света, они были названы сцинтилляциями. Причина сцинтилляций — возбуждение атомов и молекул сцинтиллирующего вещества (сцинтиллятора) под действием проходящего излучения и последующий обратный переход из возбужденного состояния в нормальное.

Интенсивность вспышек пропорциональна интенсивности излучения, поэтому можно регистрировать мощность дозы.

Сцинтилляционный счетчик, где сцинтиллятор используют вместе с фотоумножителем (рис. 48), стал основой многочисленных приборов для регистрации различных видов ядерного излучения.

Сцинтиллятор (сернистый цинк, йодистый натрий, антрацен, стильбен и ряд других веществ) преобразует энергию ядерного излучения в световую. Фотоумножитель обеспечивает регистрацию световых вспышек, преобразуя их в импульс напряжения, и он регистрируется сравнительно просто. Напряжение между катодом и анодом в разных фотоумножителях — 700—2500 в.

Сцинтилляционный счетчик с высокой эффективностью регистрирует все виды излучения. Однако для него требуется источник стабилизированного высокого напряжения. Это усложняет прибор и увеличивает его вес и габариты. Приборы с сцинтилляционным счетчиком находят широкое применение в лабораторной и геологоразведочной аппаратуре. В вооруженных силах ряда

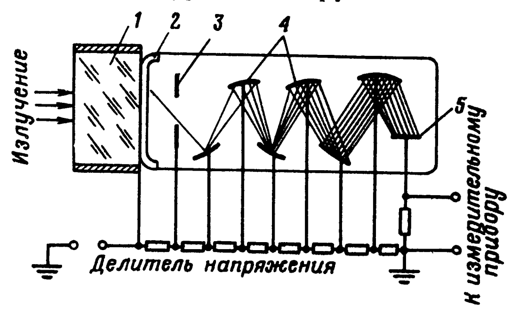


Рис. 48. Схема сцинтилляционного счетчика:
1 — сцинтиллятор, *2* — фотокатод, *3* — фокусирующий электрод, *4* — эмиттеры, *5* — анод

капиталистических государств этими приборами определяют наличие радиоактивного заражения местности и различных объектов.

Люминесцентный метод. Установлено, что некоторые вещества обладают свойством накапливать энергию от ядерных излучений, сохранять ее длительное время, а затем быстро выделять при освещении инфракрасным светом или при нагревании. Интенсивность свечения (люминесценции), пропорциональная дозе облучения, регистрируется фотоумножителем. При этом показывающий прибор заранее градуируется в рентгенах.

Дозиметр — небольшая таблетка люминесцирующего вещества (люминофора) в металлической упаковке. В качестве люминофора может быть использован, например, сернистый стронций. Он выделяет запасенную энергию при освещении его инфракрасным светом. Яркость вспышки пропорциональна дозе в широком диапазоне от тысячных долей до нескольких тысяч рентгенов.

Кристаллы фтористого кальция, фтористого лития и некоторые другие обладают термолюминесцентными

свойствами. В измерительном устройстве дозиметра предусмотрен специальный нагреватель и фотоумножитель, регистрирующий световые вспышки.

Люминесцентные и термолюминесцентные дозиметры удобны для индивидуального контроля облучения, но, чтобы снять показания, требуется сложная измерительная установка.

Ионизационный метод. Для обнаружения и измерения ядерных излучений, в том числе для радиационной

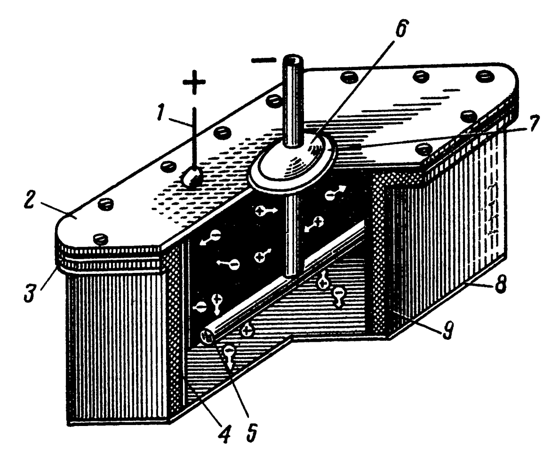


Рис. 49. Ионизационная камера:

1 — ввод, соединенный с токопроводящим слоем, *2* — крышка, *3* — резиновая прокладка, *4* — токопроводящий слой, *5* — металлический стержень, *6* — янтарный изолятор, *7* — охранное кольцо, *8* — днище, *9* — корпус

разведки и дозиметрического контроля облучения и степени заражения, наибольшее распространение получили приборы с ионизацией газа. Известно, что ионизированный газ — проводник электрического тока. На этом свойстве и основана работа ионизационной камеры и газового (иногда говорят, газоразрядного) счетчика.

У ионизационной камеры, заполненной обычно воздухом, на электроды подается постоянное напряжение. В камере на рис. 49 один электрод (внутренний) выполнен в виде стержня, а другой (внешний) размещен на внутренней поверхности корпуса. При прохождении излучений в камере создаются ионы. Под действием

электрического поля они приобретают направленное движение: отрицательные ионы собираются на аноде, а положительные — на катоде. В цепи камеры появляется ионизационный ток. Сила этого тока равна суммарному электрическому заряду, принесенному в течение одной секунды ионами к поверхности электрода.

При правильном выборе рабочего напряжения сила тока пропорциональна числу пар ионов. Следовательно, по величине тока можно судить о мощности дозы. Шкала прибора, измеряющего силу тока, например микроамперметра, заранее градуируется в единицах мощности дозы. Однако токи возникают очень слабые и измерить их можно лишь после предварительного усиления.

Ионизационные камеры в основном регистрируют сравнительно большие мощности дозы гамма-излучения, в частности, в полевых дозиметрических приборах — рентгенметрах.

Гамма-лучи проходят через камеру без заметного поглощения. Вторичные электроны они создают при взаимодействии главным образом с атомами материала корпуса камеры. Эти электроны попадают внутрь камеры и производят основную ионизацию газа. Поэтому камеры изготовляют из воздухоэквивалентных материалов (бакелит, плексиглас и т. п.). Это особенно важно при конструировании малых (наперстковых) ионизационных камер, которыми измеряют дозы гамма-излучения.

Газовыми счетчиками измеряют небольшие мощности дозы излучения. С их помощью определяют степень радиоактивного заражения боевой техники, обмундирования, различного всоружения и т. д.

Обычно счетчик — тонкостенный цилиндр, по оси его натянута металлическая нить (рис. 50). Электроды газового счетчика: катод — корпус, анод — нить. К электродам приложено высокое напряжение в сотни вольт.

Ионизирующая частица, проходя через счетчик, создает в нем хотя бы пару ионов. Под действием сильного электрического поля ионы (особенно электроны) движутся с большой скоростью. Причем по мере приближения к нити скорость электронов непрерывно возрастает и становится настолько большой, что электроны сами начинают ионизировать молекулы газа. Возникшие электроны также разгоняются до больших скоро-

стей и продолжают ионизацию газа в счетчике. Так повторяется и дальше. Из-за многократной ионизации каждая частица, попавшая в счетчик, создает миллионы ионов. Движение ионов вызывает в цепи счетчика импульс тока, после усиления он регистрируется измерительным прибором.

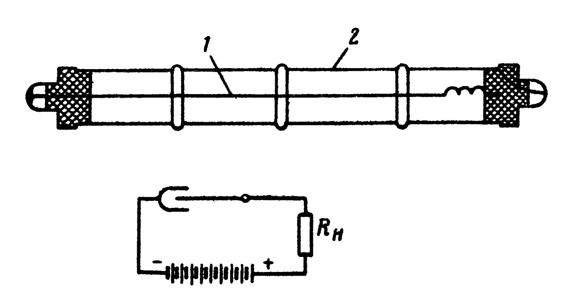


Рис. 50. Газоразрядный счетчик (схема):
1 — анод — нить счетчика, 2 — катод — корпус счетчика; $R_н$ — сопротивление нагрузки

Ионизационными камерами и газовыми счетчиками можно регистрировать нейтроны.

Потоки медленных нейтронов измеряют газовыми счетчиками, заполненными обычно трехфтористым бором. Изотоп бора B^{10} обладает хорошей способностью поглощать медленные нейтроны, при этом происходит ядерная реакция с образованием ядер гелия (альфа-частиц) и ядер лития. Ядра лития и гелия разлетаются в разные стороны и образуют на своем пути до 80 тысяч пар ионов. Борный счетчик можно использовать для счета быстрых нейтронов, если предварительно замедлить их слоем вещества, например парафина, расположенного вокруг счетчика.

Потоки быстрых нейтронов измеряют счетчиками и камерами, заполненными газами, содержащими атомы водорода, например метаном. В этом случае ионизируют в основном протоны. Они обладают хорошей ионизирующей способностью.

Мощность дозы гамма-излучения большой интенсивности измеряют и полевыми дозиметрическими приборами с так называемыми токовыми счетчиками. Чувствительность их понижена за счет уменьшения рабочего

объема. С помощью токовых счетчиков можно измерять мощность дозы до нескольких сотен рентгенов в час.

Полупроводниковыми детекторами ядерных излучений могут быть, например, кристаллы сернистого кадмия и кремниевые диоды.

Кристалл сернистого кадмия помещают между двумя электродами, к которым подключают источник постоянного тока невысокого напряжения. При воздействии гамма-излучения проводимость кристалла резко возрастает и в цепи появляется ток, пропорциональный мощности дозы. Чувствительность кристалла повышается с ростом приложенного к нему напряжения и зависит от размеров кристалла. Детекторы с сернистым кадмием обладают хорошей стабильностью, малыми размерами, большой чувствительностью к облучению. Прибор с полупроводниковым детектором получается простым, компактным и легким.

Стеклянные дозиметры. Для измерения дозы гамма-излучения можно использовать специальные метафосфатные стекла, они запасают энергию гамма-лучей и отдают ее в виде желтого свечения при освещении ультрафиолетовым светом.

Метафосфатные стекла, активированные серебром, позволяют измерять дозы в диапазоне от долей рентгена до нескольких тысяч и более. Подбором состава стекла, а также с помощью фильтров удается получать показания, почти не зависящие от энергии гамма-квантов. Ценное качество стеклянных дозиметров — механическая прочность, на их работу не влияют температура и влажность.

7. ПОРАЖАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ПРОНИКАЮЩЕЙ РАДИАЦИИ. Лучевая болезнь.

Поражающее действие ядерных излучений обусловлено их способностью ионизировать и возбуждать атомы и молекулы, входящие в живую ткань. После ионизации образуются новые, более химически активные соединения. Это приводит к повреждению отдельных элементов клетки и заметным сдвигам в обмене веществ

В биологическом действии ядерных излучений важны процессы ионизации молекул воды, этих молекул в организме до 70%. Наиболее вероятен такой процесс ионизации. Положительный ион H_2O^+ получается при удалении электрона из молекулы воды, а после присо-

единения его к другой молекуле — отрицательный ион H_2O^-. Образовавшиеся ионы неустойчивы и быстро распадаются (диссоциируют).

Наряду с диссоциацией протекает и обратный процесс — образование молекул водорода и перекиси водорода. При этом возможны следующие реакции:

$$H_2O^- \rightarrow HO^- + H; \quad H + H \rightarrow H_2;$$
$$H_2O^+ \rightarrow H^+ + OH. \quad OH + OH \rightarrow H_2O_2.$$

В жидкостях организма, как правило, есть растворенный кислород, с ним водород дает очень активный радикал HO_2 ($H + O_2 \rightarrow HO_2$). Перекись водорода и радикалы OH и HO_2 даже в очень малых количествах вредно действуют на живую ткань, вызывают своеобразное химическое отравление организма. В чем же особенность действия ядерных излучений на человека? В том, что оно проявляется не только в отдельных органах и тканях, но и в процессах, регулируемых центральной нервной системой.

Нарушения в организме при воздействии излучений могут привести к особой форме заболевания — лучевой болезни.

Установлено, что биологическое действие радиации зависит от дозы излучения, ее распределения во времени и характера облучения. Если облучение непродолжительное (не более 4 дней), то степень возникающих лучевых поражений при одинаковых дозах будет всегда одинаковой. Поэтому такое облучение обычно называют одноразовым или однократным. При одноразовом облучении всего организма человек практически без всяких последствий переносит дозу до 50 р. Эту дозу считают однократно допустимой. Если же период облучения затягивается более чем на 4 дня, то начинают заметно сказываться протекающие в облученном организме процессы восстановления пораженных клеток. Облучение небольшими порциями в течение длительного времени будет более безвредным.

У разных людей одна и та же доза может вызвать развитие лучевой болезни различной тяжести в зависимости от сопротивляемости организма и общего состояния здоровья.

В естественных условиях человек за время своей жизни облучается в общей дозе 5—7 р. К этой дозе[1] человек приспособился за время существования жизни на Земле и воспринимает ее безвредно.

Как же протекает лучевая болезнь? Непосредственно после воздействия больших доз излучения обычно развивается так называемая фаза первичной реакции. Она продолжается от нескольких часов до нескольких суток. Наблюдаются явления общей слабости, желудочно-кишечные расстройства, головная боль. Происходят также изменения в составе крови. Срок начала заболевания зависит от величины дозы и состояния организма к моменту облучения. Затем наступает скрытый период, или период мнимого выздоровления. Общее состояние больного улучшается, внешних признаков заболевания нет. Однако и в этой фазе лучевой болезни продолжаются процессы нарушения нормальной жизнедеятельности организма. Период скрытого действия длится от нескольких дней до двух-трех недель. Чем больше доза излучения, тем короче этот период.

При сильном облучении и пониженной сопротивляемости организма скрытый период может отсутствовать, первая фаза переходит непосредственно в третью стадию развития лучевой болезни — токсическую или лихорадочную. У больного усиливаются желудочно-кишечные расстройства, наблюдается выпадение волос, кровотечения и кровоизлияния (в коже, в полости рта и др.), резко уменьшается число лейкоцитов и тромбоцитов. Уменьшение числа лейкоцитов снижает способность организма противостоять различным заболеваниям. Вследствие снижения количества тромбоцитов ухудшается процесс свертывания крови и, следовательно, возрастает опасность кровотечений.

По прошествии этого периода наступает последний — период выздоровления. Так протекает острая лучевая болезнь. Существует еще хроническая форма лучевой болезни. Она появляется при длительном систематическом облучении относительно малыми дозами, но превышающими допустимые нормы.

---

[1] В некоторых местах на земном шаре жители получают более высокую дозу из-за окиси тория, содержащейся в песках.

Различают три степени лучевой болезни: первую (легкую), вторую (среднюю) и третью (тяжелую).

Лучевая болезнь легкой степени возникает при общей дозе облучения 100—200 р и протекает без типично выраженных симптомов. В первые сутки у 30—50% пораженных появляется тошнота и рвота. Смертельных случаев нет.

Доза радиации 200—300 р может вызвать лучевую болезнь средней степени. Признаки заболевания выражены в более яркой форме. Почти у всех пораженных в первые сутки тошнота и рвота. Заболевшие в большинстве случаев выздоравливают.

Лучевая болезнь тяжелой степени развивается при дозе облучения свыше 300 р. Протекает она более интенсивно, скрытый период заболевания сокращается. При облучении в дозе 400—500 р могут быть смертельные исходы в 50% случаев заболевания. Такую дозу часто называют летальной. Соответственно этому радиус зоны, где может быть летальное облучение проникающей радиацией, называют летальным радиусом.

Зоны поражения проникающей радиацией при взрывах ядерных боеприпасов средней и большой мощности несколько меньше зон поражения ударной волной и световым излучением. Для боеприпасов с небольшим тротиловым эквивалентом (1000 т и менее), наоборот, зоны поражающего действия проникающей радиации превосходят зоны поражения ударной волной и световым излучением.

В ряде стран разрабатываются эффективные способы лечения лучевой болезни, с помощью химических средств достигнуты определенные успехи в профилактике.

Химическая защита от радиации. Теоретические и экспериментальные исследования ученых-радиобиологов показали, что действие радиации можно уменьшить химическими средствами. Прежде всего было замечено, что чувствительность к излучению уменьшается при недостатке кислорода в момент облучения. Полагают, что в данном случае изменяется характер начальных физико-химических реакций и уменьшается количество окисленных продуктов. Обеднение клеток кислородом можно получить, вводя в организм вещества, легко окисляющиеся или суживающие сосуды.

Положительные результаты были получены при использовании некоторых серосодержащих веществ. Например, цистеамин, введенный внутривенно перед облучением, значительно ослаблял действие излучения. В одном из опытов непосредственно перед облучением мышам вводили по 3 мг цистеамина. При дозе 700 р контрольные мыши все погибли, а защищенные остались живы, при дозе 900 р погибла часть защищенных мышей, а при более высоких дозах гибли все. Следовательно, цистеамин примерно вдвое повышал устойчивость к облучению при минимальной смертельной дозе. Однако цистеамин и ряд других веществ имеет ряд недостатков (токсичность, недостаточная стойкость, кратковременность действия, незначительное защитное действие по нейтронам). Ученые продолжают поиски средств, более эффективных и удобных для использования, проверяют диапазон их действия и выясняют механизм защиты.

Действие радиации на материалы и детали. Степень воздействия радиации на материалы и детали оборудования зависит от вида излучения, дозы радиации (в некоторых случаях и от мощности дозы), энергетического спектра излучения, природы облучаемого вещества и условий окружающей среды.

На свойства металлов влияют в основном быстрые нейтроны. Они способны проникать в глубь кристаллической решетки и вызывать в ней повреждения. От упругих соударений с ядрами атомов происходит смещение атомов, и в узлах кристаллической решетки возникают так называемые внедрения и вакансии. При поглощении нейтронов в веществе образуются примеси, наблюдается ионизация и возбуждение атомов и возможно кратковременное локальное повышение температуры.

Свойства металлов заметно изменяются при потоках нейтронов порядка 10^{19} н/см^2 и более. Такие потоки создаются лишь в реакторах при длительном облучении или в непосредственной близости от центра ядерного взрыва, где все объекты полностью разрушаются действием ударной волны и светового излучения.

В материалах, элементах и схемах электрорадиооборудования при кратковременном (импульсном) воздействии проникающей радиации возникают временные (обратимые) и остаточные (необратимые) изменения

электрических параметров. Гамма-лучи вызывают обычно временные изменения, а нейтроны — остаточные.

Проходя через элементы радиоэлектронной аппаратуры, поток гамма-лучей создает в них свободные носители электрических зарядов — электроны и ионы. Из-за этого повышается проводимость материалов, увеличивается утечка тока и снижается сопротивление, уменьшается напряжение зажигания в газоразрядных приборах. Обратимые изменения, существуя несколько секунд, вызывают временный отказ в работе аппаратуры; в ряде случаев они могут вывести аппаратуру из строя (короткое замыкание, пробой и др.).

Характер необратимых изменений под воздействием нейтронов зависит от структуры материала, суммарного потока нейтронов и количества поглощенной энергии. От необратимых изменений радиодетали и аппаратура выходят из строя.

Наиболее подвержены действию проникающей радиации полупроводниковые приборы. Причем особенно опасно для них нейтронное излучение. Влияние бета-гамма-лучей и тепловых нейтронов сравнительно невелико. В кристаллической решетке полупроводников нейтроны создают примеси, к ним полупроводниковые приборы особенно чувствительны. Нарушение кристаллической структуры приводит к необратимым изменениям свойств полупроводников, в частности, в транзисторах изменяются обратный ток и коэффициент усиления.

Из конденсаторов наиболее чувствительны к облучению электролитические и бумажные. В облучаемых диэлектриках понижается напряжение пробоя и сопротивление утечки, а также изменяется проводимость и внутренний нагрев.

Электровакуумные приборы также подвержены воздействию радиации, особенно телевизионные передающие трубки и фотоэлементы, в меньшей степени — приемо-усилительные и вакуумные выпрямительные лампы. Среди резисторов наименее стойки композиционные угольные переменные сопротивления и наиболее стойки — проволочные.

Можно ли учесть влияние радиации на детали из различных элементов и материалов? Да, но необходима статистическая оценка, поскольку детали, удовлетво-

ряющие заданным техническим условиям, неидентичны. Радиационная стойкость может различаться весьма существенно даже у элементов одного и того же типа. Так, например, среди полупроводниковых приборов

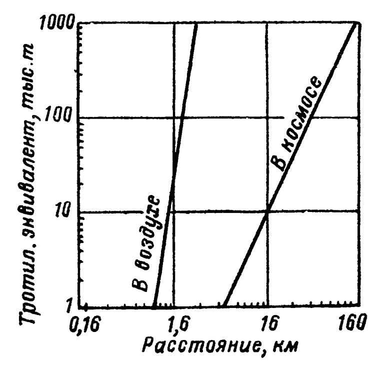


Рис. 51. Расстояния возможного поражения радиоэлектронной аппаратуры мгновенным гамма-излучением (мощностью дозы 10^7 р/сек)

необратимые изменения параметров наблюдаются у низкочастотных мощных транзисторов при потоке нейтронов 10^{11} н/см^2, а у туннельных полупроводниковых элементов подобного типа при потоках 10^{14}—10^{15} н/см^2.

По данным иностранной печати, радиоэлектронная аппаратура может выйти из строя при потоках нейтронов 10^{13} н/см^2 мощности дозы гамма-излучения 10^7 р/сек и дозе 10^6 р.

Может ли короткий, но очень интенсивный импульс радиации ядерного взрыва нарушить работу электронного оборудования, расположенного вне зоны действия ударной волны? Да, может, но главным образом при взрывах, произведенных на большой высоте, где плотность воздуха мала и ядерное излучение почти не ослабляется.

Радиусы от центра взрыва, на которых будет действовать гамма-излучение мощностью дозы 10^7 р/сек в атмосфере и космосе, приведены на рис. 51.

Действие импульсного гамма-нейтронного излучения на элементы радиоаппаратуры показано в таблице 6.

Таблица 6

Изменение параметров элементов радиоаппаратуры при облучении

Элементы радиоаппаратуры	Необратимые изменения, при которых элементы еще могут работать		Начало обратимых изменений при мощности дозы, р/сек
	при потоке нейтронов, н/см²	при дозе γ-излучения, р	
Транзисторы	10^{11}—10^{13}	—	10^{5}
Диоды полупроводниковые	10^{12}—10^{15}	—	10^{5}
Резисторы	10^{13}—10^{17}	10^{6}	10^{6}
Конденсаторы	10^{14}	10^{7}—10^{9}	10^{5}
Фотоэлементы	—	10^{6}	10^{3}
Радиолампы	$3 \cdot 10^{15}$	—	10^{7}

В электроизоляционных материалах из полимеров под действием радиации происходит изменение молекул. От одновременно протекающих процессов разрыва и сшивания полимерных цепей возможна молекулярная перегруппировка с образованием побочных продуктов.

В большинстве эластичных полимеров молекулы, как правило, укрупняются. Это приводит к увеличению жесткости и модуля упругости. Некоторые полимеры, например резина, могут превратиться в твердую стеклообразную массу. Если же при облучении преобладает процесс расщепления молекул, то полимеры становятся более мягкими (полужидкими).

Для органических материалов более опасны гамма-лучи, а для неорганических — нейтроны. Под действием гамма-лучей ухудшаются диэлектрические свойства изоляционных материалов, возникают токи утечки. Более устойчивы к радиации неорганические материалы. Хорошо сохраняют изоляционные свойства кварц, фарфор, слюда. Их характеристики мало изменяются при нейтронных потоках порядка $5 \cdot 10^{18}$ н/см².

Интенсивное облучение вызывает потемнение (окрашивание) оптических деталей и стекла. Гамма-лучи создают в стекле так называемые центры окрашивания, количество их зависит от дозы и интенсивности излучения, от химического состава стекла, его чистоты и тех-

нологии плавки. Быстрые нейтроны на окрашивание влияют мало. Радиационные эффекты в стекле почти не связаны с упругим взаимодействием нейтронов с ядрами атомов. Потемнение стекол оптических приборов (прицелов, дальномеров, панорам и др.) происходит при дозах в тысячи и десятки тысяч рентгенов.

Под действием температуры и солнечного света прозрачность стекол частично восстанавливается. Процесс потемнения можно значительно замедлить, если в стекло добавить немного окиси церия. Стекла получают устойчивость к радиации даже при дозах в несколько миллионов рентгенов.

Высока чувствительность к гамма-излучению фотопленки. Для засвечивания некоторых сортов пленки достаточна доза в несколько рентгенов.

Проникающая радиация влияет на надежность работы электронных вычислительных машин, при этом короткие импульсы нейтронов и гамма-лучей более опасны по сравнению с действием непрерывного продолжительного облучения сравнительно небольшой интенсивности.

По мнению некоторых специалистов США, радиоэлектронная техника должна сохранять работоспособность в условиях воздействия проникающей радиации с мощностью дозы до 10^{13} р/сек и потоках нейтронов от 10^{11} до 10^{16} н/см^2. Как обеспечить высокую надежность работы электронного оборудования в условиях интенсивного облучения? Иностранные специалисты предлагают применять радиационно стойкие материалы и детали, использовать специальные схемы, в которых предусматривается блокировка возникающих избыточных токов и напряжений или выключение схемы в момент действия импульса радиации, рекомендуют применять и защитные экраны.

В следующей главе мы расскажем о таком поражающем факторе ракетно-ядерного оружия, как радиоактивное заражение.

VI. РАДИОАКТИВНОЕ ЗАРАЖЕНИЕ

Радиоактивное заражение[1], как и проникающая радиация, — поражающий фактор, свойственный только

[1] В иностранной литературе вместо термина «радиоактивное заражение» часто используют термин «остаточное ядерное излучение».

ядерному взрыву. Однако, в отличие от проникающей радиации, действие его более продолжительное и не ограничивается районом взрыва.

Радиоактивные продукты в воздухе могут перемещаться на большие расстояния. При оседании их на землю происходит заражение местности и местных предметов. Люди в районе заражения подвергаются воздействию радиации (гамма- и бета-лучей), возможно попадание радиоактивных веществ внутрь организма.

При наземных ядерных взрывах могут оказаться зараженными районы площадью в несколько тысяч и даже десятков тысяч квадратных километров. Поэтому в условиях применения ракетно-ядерного оружия необходим своевременный и всесторонний учет степени и масштабов заражения.

1. ИСТОЧНИКИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАРАЖЕНИЯ. Радиоактивное заражение местности, воздуха и различных объектов вызывается осколками деления вещества заряда, наведенной активностью и непрореагировавшей частью ядерного заряда.

а) Радиоактивные осколки деления. Это основной источник радиоактивного заражения при ядерных взрывах.

Продукты деления — это смесь изотопов 34 элементов — от цинка до гадолиния. Среди них больше всего изотопов, массовые числа которых лежат в диапазоне 85—104 (легкая группа осколков) и 130—149 (тяжелая группа).

В большом количестве образуются изотопы йода, инертных газов криптона и ксенона, изотопы стронция, молибдена, бария, циркония, теллура, цезия, иттрия, ниобия, лантана и церия.

Приведем в качестве примера две схемы деления:

$${}_{92}U^{235} + n \rightarrow {}_{39}Y^{95} + {}_{53}I^{139} + 2n;$$

$${}_{94}P_{u}^{239} + n \rightarrow {}_{38}Sr^{94} + {}_{56}Ba^{143} + 3n.$$

Радиоактивные изотопы иттрия и йода, стронция, бария и другие не сразу превращаются в устойчивые ядра. Они претерпевают цепочку последовательных бета-распадов, причем выбрасывание бета-частиц часто сопровождается испусканием гамма-лучей. Поскольку одновременно распадаются не только осколки деления, но и

продукты их распада, то с течением времени среди них можно обнаружить около 200 различных радиоактивных изотопов с периодом полураспада от долей секунды до десятков лет.

Общая бета-активность продуктов деления через 1 мин. после взрыва ядерного заряда с тротиловым эквивалентом q тонн ориентировочно равна $A = 10^8 \cdot q$ кюри.

Гамма-активность, т. е. количество распадов в секунду, сопровождаемых гамма-излучением, приблизительно в 2,5 раза меньше бета-активности.

Как уже указывалось, при ядерном взрыве получается смесь большого количества радиоактивных изотопов. Уменьшение активности в этом случае нельзя определять по закону радиоактивного распада какого-то одного изотопа. Активность продуктов ядерного взрыва вычисляется по формуле, полученной опытным путем.

$$A = A_0 \left(\frac{t}{t_0}\right)^{-1,2},$$

где A_0 — активность продуктов в момент времени t_0 после взрыва;

A — активность, которую надо определить по истечении времени t с момента взрыва.

Вычисления позволяют сделать важный практический вывод о том, что радиоактивное заражение носит сравнительно нестойкий характер. Степень заражения непрерывно уменьшается. За семикратный промежуток времени она уменьшается в 10 раз. Если активность продуктов деления через 1 час после взрыва принять за 100%, то через 7 час. она будет составлять 10%, через 49 час. — 1%.

С течением времени изменяется состав продуктов деления: количество одних уменьшается, других — возрастает. В связи с этим изменяется средняя энергия испускаемых бета-частиц и гамма-квантов и их биологическое действие.

б) Наведенная активность. Такая активность возникает в веществе той среды, где распространяются нейтроны.

В районе ядерного взрыва может быть опасной наведенная активность грунта. Величина ее зависит

от плотности потока нейтронов, его энергетического спектра и от содержания в грунте элементов, поддающихся активации. При этом следует иметь в виду, что каждый изотоп данного элемента по-своему участвует в реакциях радиационного захвата. Возьмем, например, железо. В природном железе четыре изотопа: Fe^{54} (5,9%), Fe^{56} (91,6%), Fe^{57} (2,2%) и Fe^{58} (0,3%). При захвате медленных нейтронов только Fe^{54} и Fe^{58} (а их всего лишь 6,2%) дают радиоактивные изотопы, Fe^{56} и Fe^{57} дают изотопы стабильные.

Наведенная радиоактивность в грунте образуется не только в поверхностном слое, но и на некоторой глубине. Быстрые и промежуточные нейтроны замедляются слоем почвы толщиной 10—15 см. Поэтому на такой глубине поток медленных нейтронов и наведенная активность могут оказаться наибольшими.

Со временем наведенная активность в грунте быстро уменьшается, так как большинство активированных изотопов обладает малым периодом полураспада. В первые минуты после взрыва преобладает гамма-излучение алюминия-28 (T = 2,3 мин.), по прошествии нескольких часов основная активность принадлежит марганцу-56 (T = 2,6 час.) и натрию-24 (T = 15 час.), а спустя сутки — только натрию-24.

Посмотрим теперь, что происходит с морской водой. Как известно, совершенно чистой воды в природе нет. Вода растворяет многие вещества и переносит их вместе с собой. В литре океанской воды содержится в среднем 33—39 г растворенных веществ, в том числе поваренной соли приблизительно 24 г. В речной воде соли также есть, но в очень малом количестве. Наведенную радиоактивность в воде определяют главным образом содержанием солей натрия и калия.

В продуктах питания наведенная радиоактивность невысокая. Исключение составляют продукты с большим количеством поваренной соли.

в) Непрореагировавшая часть ядерного вещества.

Ядерные взрывчатые вещества (U^{235}, U^{233}, Pu^{239}) — альфа-активные изотопы с очень большими периодами полураспада. При взрыве боеприпаса в цепной реакции деления участвует не все вещество заряда, а лишь некоторая часть. Непрореагировавшее ядерное вещество ис-

паряется, поднимается с облаком взрыва и выпадает затем на местность вместе с продуктами деления.

Поскольку периоды полураспада изотопов урана и плутония очень большие, то активность непрореагировавшей части в продуктах взрыва мала по сравнению с их общей активностью. Кроме того, испускаемое ими излучение обладает малой проникающей способностью. По этим причинам непрореагировавшее ядерное вещество на характер заражения местности не оказывает существенного влияния.

Рассмотренные источники радиоактивного заражения испускают альфа-, бета- и гамма-лучи. О взаимодействии гамма-лучей с веществом уже говорилось. Кратко рассмотрим взаимодействие с веществом альфа- и бета-частиц.

При прохождении через вещество любых заряженных частиц возникают силы электрического взаимодействия их с электронами и ядрами атомов. Под действием этих сил происходит ионизация и возбуждение атомов. Один или несколько электронов могут быть удалены из атома или переведены на другой энергетический уровень.

На каждую пару ионов возникает два-три возбужденных атома или молекулы. У них при поглощении энергии электроны перемещаются на более удаленные оболочки атома. Обратный переход электрона на ближнюю орбиту даст избыток энергии, выделяющийся в виде квантов (фотонов) рентгеновского, ультра-фиолетового или видимого излучения.

В воздухе альфа-частицы создают в среднем около 30 000 пар ионов на каждом сантиметре своего пути При этом длина пробега не превышает 10 см. Альфа-частицы полностью поглощаются одеждой человека. Их хорошо задерживает даже лист бумаги.

Пробег бета-частиц в веществе значительно больше. При данной энергии частиц пробег обратно пропорционален плотности материала и мало зависит от его состава.

Бета-частицы с энергией 1 Мэв имеют максимальный пробег в воздухе 3 м, в тканях организма около 5 мм, в железе — 0,5 мм. При этой энергии средняя плотность ионизации в воздухе приблизительно 100 пар ионов на сантиметр.

2. РАДИОАКТИВНОЕ ЗАРАЖЕНИЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА. Радиоактивное заражение местности характеризуется уровнем радиации и плотностью заражения. Уровень радиации — это мощность дозы гамма-излучения, измеренная над зараженной местностью. Чем выше этот уровень, тем больше вероятность получить поражение путем внешнего облучения. Уровень радиации измеряют числом рентгенов в час (р/ч) или числом рад в час (рад/ч). Небольшие уровни измеряют в миллирентгенах в час (мр/ч).

Плотность заражения измеряют числом распадающихся атомов в 1 мин. на единице поверхности или в единице объема (веса) (распад/мин·см^2 или распад/мин·см^3).

Уровень радиации пропорционален плотности заражения и зависит от размеров зараженного участка и высоты измерения. Сначала с увеличением радиуса площадки уровень резко возрастает, а потом увеличивается более медленно. Например, в центре площадки радиусом 10 м уровень радиации на высоте 1 м примерно 50% максимально возможного значения, которое бывает у площадки бесконечно больших размеров.

С увеличением высоты измерения уровней радиации, например при воздушной радиационной разведке, возрастает роль удаленных участков. Если, например, высота $H = 50$ м, то радиус участка, над которым уровень радиации составляет 50% максимального значения, увеличивается до 100 м. Зависимость величины уровней радиации от условий измерения учитывают в практике радиационной разведки и контроля зараженности. Для земной поверхности уровень радиации, измеренный на небольшой высоте, будет меньше расчетного из-за экранирующего действия местных предметов и неровностей почвы.

Установлено, что при плотности заражения 200 000 распад/мин см^2 уровень радиации в центре достаточно большой площадки на высоте 1 м равен 0,01 р/ч (т. е. 10 миллирентген в час). Учитывая связь уровней радиации и плотности заражения, можно уровень радиации использовать для оценки зараженности не только местности, но также боевой техники и вооружения, обмундирования и личного состава.

Степень заражения, а также форма и размеры районов заражения зависят от мощности и вида ядерного взрыва, метеорологических условий, рельефа местности, от времени, прошедшего после взрыва, и характера земной поверхности, где произведен взрыв. По характеру распределения радиоактивных веществ различают радиоактивное заражение в районе взрыва, по следу облака и глобальное заражение.

Воздушный ядерный взрыв. При воздушном взрыве основная часть продуктов деления уносится вверх быстро поднимающимся облаком.

Если взрыв произведен на большой высоте (высокий воздушный взрыв), то пыль, которая поднимается с земли восходящими потоками нагретого воздуха, не достигает облака. В этом случае основная масса радиоактивных продуктов взрыва находится в облаке в виде мелких частичек размером не более нескольких микрон[1]. Такие частички, оседая очень медленно, длительное время остаются в атмосфере во взвешенном состоянии. За время оседания радиоактивность их сильно уменьшается. Воздушными потоками продукты взрыва переносятся на большие расстояния, заражению подвергаются огромные площади, но с незначительной плотностью. В некоторых случаях радиоактивные частицы облетают вокруг земного шара и могут выпасть в любом месте. Так возникает глобальное заражение местности, для которого характерна весьма небольшая степень заражения.

При низком воздушном взрыве в облако втягивается некоторое количество пыли. Поэтому в районе взрыва, хотя и в небольшом количестве, все же выпадают радиоактивные продукты. При малой скорости ветра небольшое заражение возможно и по следу облака взрыва.

Главный источник радиоактивного заражения местности в районе воздушных взрывов — наведенная радиоактивность (активированный грунт). Полагают, что размер зоны заражения в районе взрыва не будет превышать радиуса зоны сплошного разрушения.

Наземный взрыв. Наземный взрыв характерен прежде всего тем, что огненный шар соприкасается с поверхностью земли. Значительная часть радиоактивных продуктов остается в районе взрыва в виде радиоактивного

---

[1] 1 микрон=0,001 мм.

шлака, верхний слой грунта расплавляется и перемешивается с продуктами взрыва. Часть грунта испаряется и захватывается огненным шаром. Кроме того, большое количество пыли и других твердых частиц поднимают воздушные потоки, которые устремляются вверх вслед за облаком взрыва. Пылевой столб соединен с облаком с самого начала его образования. В облако вовлекается огромное количество частиц грунта. Радиоактивные продукты сталкиваются с ними в облаке и оседают на них, образуя радиоактивную пыль.

При наземном взрыве размеры частиц грунта, втянутых в облако, колеблются в широких пределах от микрона (и менее) до нескольких миллиметров. По мере поднятия облака некоторая доля наиболее крупных частиц пыли выпадает из него в районе взрыва. Здесь заражение усиливается за счет наведенной активности в почве. Границы участков с определенными уровнями радиации чаще всего имеют вид концентрических окружностей. С удалением от места взрыва уровни радиации быстро уменьшаются.

Вблизи центра взрыва местность сильно заражена, но площадь такого заражения сравнительно невелика. Для взрыва мощностью 1 млн. т в иностранной литературе приводятся следующие данные о радиоактивном заражении с наветренной стороны. Радиус зоны, где уровень радиации 100 р/ч равен 6,5 км, а зона с уровнем 1 р/ч имеет радиус 13 км.

Выпадение радиоактивных продуктов взрыва продолжается и далее, когда облако перемещается под действием ветра. Образуется полоса зараженной местности, называемая следом радиоактивного облака.

Форма следа зависит главным образом от направления и скорости ветра на различных высотах в пределах подъема облака взрыва, т. е. от поверхности земли до его верхней кромки, а также от рельефа местности. На открытой равнинной местности при постоянном направлении ветра на всех высотах (где проходят частицы радиоактивной пыли) след имеет форму вытянутого эллипса. Если во время оседания радиоактивных продуктов направление и скорость ветра изменяются, то след облака может принять другую форму.

Скорость оседания частиц пыли зависит от их плотности и размеров. Если принять плотность частиц одина-

ковой, то скорость падения будет определяться только их размерами. Чем крупнее частицы, тем быстрее они оседают на поверхности земли. Например, с высоты 10 км частицы радиусом 50 мк падают 4,5 часа, а радиусом 25 мк — 16 час. Частицы размером 5 мк и менее выпадают на землю 2—3 недели и более.

Располагая данными о скорости и направлении ветра на всех высотах в пределах подъема облака, можно установить направление движения облака, направление (ось) следа и время начала радиоактивного заражения на различном удалении от центра взрыва. Поскольку ветер с высотой, как правило, существенно изменяется, то для удобства расчетов пользуются средним ветром. Это ветер средний по направлению и скорости. Действие его на падающие частицы равно суммарному воздействию реально существующих ветров.

Размеры и степень заражения по следу облака зависят главным образом от мощности взрыва и скорости среднего ветра. Начало выпадения радиоактивных веществ определяют ориентировочно по формуле

$$t = \frac{R}{V},$$

где t — время начала выпадения (с момента взрыва);
R — расстояние от центра взрыва;
V — скорость среднего ветра.

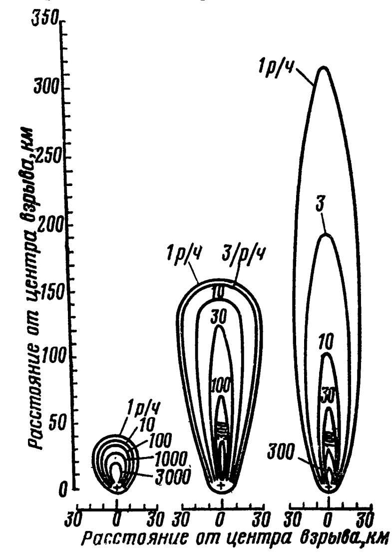


Рис. 52. След радиоактивного облака через 1, 6 и 18 часов после взрыва мощностью 1 млн. т (скорость среднего ветра 24 км/час)

Степень заражения на следе облака неодинакова. Она постепенно уменьшается по мере удаления от центра взрыва. В то же время наибольшее радиоактивное заражение всегда наблюдают на оси следа, она уменьшается к боковым границам.

Распределение уровней радиации для взрыва мощ-

ностью 1 млн. т при средней скорости ветра 24 км/час дано на рис. 52. Значения уровней соответствуют времени 1, 6 и 18 час. после взрыва.

В любой точке местности, где происходит выпадение радиоактивных веществ, вначале наблюдается возрастание уровней радиации от нуля до некоторого максимального значения. После того как выпадение прекратится, начинается спад уровней радиации.

Изменение уровня радиации на зараженной местности определяют законом падения активности и вычисляют по формуле

$$P = P_0 \left(\frac{t}{t_0} \right)^{-1,2},$$

где P_0 — уровень радиации в момент времени t_0 после взрыва;

P — уровень радиации на время t, отсчитанного также с момента взрыва.

Обычно в литературе уровень радиации приводят для времени $t_0 = 1$ час и называют эталонным. При этом условии формула приобретает более простой вид:

$$P = P_0 t^{-1,2}.$$

Результаты расчетов по этой формуле приведены в таблице 7. Для удобства принято, что уровень радиации через 1 час после взрыва — 1 р/ч.

Таблица 7

Изменение уровня радиации во времени

Время после взрыва, *час*	0,5	1	2	3	4	5	6	12	24 (1 сут.)	48 (2 сут.)	96 (4 сут.)	168 (7 сут.)
Уровень радиации, р/ч	2,4	1	0,44	0,27	0,19	0,15	0,12	0,05	0,022	0,01	0,0042	0,002

Покажем, как пользоваться формулой и таблицей для определения уровня радиации.

Пример. По данным радиационной разведки, в районе переправы уровень радиации в 15.00 составлял 100 р/ч. Определить уровень радиации в 18.00, если известно, что взрыв произошел в 12.00. Решим пример с помощью формулы

$$P = P_0 \left(\frac{t}{t_0}\right)^{-1,2}$$

$t_0 = 3$ *ч*
$t = 6$ *ч*
$P_0 = 100$ *р/ч*
$P = ?$

$$P = 100 \left(\frac{6}{3}\right)^{-1,2} = 100\,\frac{1}{2}^{1,2} = 44 \text{ р/ч}$$

При использовании таблицы поступаем так. Через 3 часа после взрыва уровень снижается до 0,27. Следовательно, через 1 час после взрыва

$$P = \frac{100}{0,27} = 370 \text{ р/ч}.$$

Далее, по таблице находим уменьшение уровня за 6 час. и вычисляем искомый уровень радиации

$$P = 370 \cdot 0,12 = 44 \text{ р/ч}.$$

Таблица 8

Радиоактивное заражение по следу облака ядерного взрыва

Уровни радиации, р/ч	Расстояние от центра взрыва по ветру, км	Максимальная ширина следа, км
1000	4	0,5
300	8	1,9
100	18	2,9
30	35	4,5
10	80	8,1

Ориентировочные данные о радиоактивном заражении местности по следу облака при наземном взрыве мощностью 20 тыс. т приводятся в таблице 8. Скорость среднего ветра — 24 км/ч. Уровни радиации даны на

1 час после взрыва при условии, что выпадение радиоактивных продуктов закончилось.

С увеличением мощности взрыва возрастают и уровни радиации на данное время в точках, одинаково удаленных от центра взрыва. Так, на расстоянии 25 км от центра наземных взрывов мощностью 20 и 200 тыс. т уровни радиации через 1 час после взрыва будут равны соответственно 40 и 600 р/ч. При увеличении мощности взрыва в 10 раз уровни радиации возросли в 15 раз. Приведенный пример показывает, что не наблюдается прямой пропорциональности в изменении уровней радиации с изменением мощности взрыва.

Изменение скорости ветра влияет на дальность распространения радиоактивных продуктов. С увеличением скорости возрастает длина следа, примерно в такой же степени уменьшается и плотность заражения и уровень радиации.

Если известно, что на заданном расстоянии от центра взрыва скорость среднего ветра V_1, а уровни радиации определены при скорости V_2, то для тех же расстояний значения уровней надо умножить на коэффициент, приблизительно равный отношению $\frac{V_2}{V_1}$.

В том случае, когда задан уровень радиации при скорости ветра V_1 и требуется узнать, на каком расстоянии от центра взрыва возможен такой уровень радиации при скорости V_2, то поправочный множитель приблизительно будет равен корню квадратному из отношения $\frac{V_2}{V_1}$. Допустим, что при $V_1 = 20$ км/ч на расстоянии $R = 10$ км наблюдался уровень радиации $P = 2$ р/ч. Если бы при взрыве той же мощности скорость среднего ветра оказалась равной 80 км/ч, то указанный уровень радиации можно ожидать уже на расстоянии

$$R = 10 \cdot \sqrt{80/20} = 20 \text{ км}.$$

Доза облучения, получаемая личным составом за время пребывания на зараженном участке местности за время от t_1 до t_2, может быть вычислена по формуле

$$Д = 5P_0t_0^{1,2} \cdot (t_1^{-0,2} - t_2^{-0,2}),$$

где P_0 — уровень радиации, измеренный в момент времени t_0;

t_1 — начало облучения (время прибытия в район заражения);

t_2 — конец облучения (выход из района заражения или занятие укрытий).

Время t_0, t_1 и t_2 измеряется в часах, начиная с момента взрыва. Если начало облучения совпадает с моментом измерения, т. е. $t_0 = t_1$, то формула запишется несколько иначе, а именно: $Д = 5P_0t_0\left[1 - \left(\frac{t_0}{t_2}\right)^{0,2}\right]$.

В том случае, когда человек находится на зараженном участке длительное время (t_2 велико по сравнению с t_0), дозу радиации вычисляют по очень простой формуле: $Д = 5P_0t_0$.

Пример: Разведкой установлено, что через 6 час. после взрыва уровень радиации в районе населенного пункта равен 50 р/ч. Спустя 2 час. этот пункт заняло подразделение и оставалось в нем 3 час. Определить дозу, которую может получить личный состав подразделения. Для решения пользуемся формулой: $t_0 = 6$ час., $P_0 = 50$ р/ч, $t_1 = 8$ час. и $t_2 = 11$ час. получаем $Д = 5 \cdot 50 \times \times 6^{1,2} \cdot (8^{-0,2} - 11^{-0,2}) = 86$ р.

Если время t_2 не очень существенно отличается от t_1, то для вычисления дозы можно воспользоваться уровнем радиации средним для интервала времени $t_2 - t_1$.

Вернемся к предыдущему примеру. С помощью формулы или какой-либо дозиметрической (радиационной) линейки находим уровень радиации для времени 8 и 11 час. после взрыва (P_8 и P_{11}), затем вычисляем $P_{ср} = \frac{P_8 + P_{11}}{2}$ и, наконец, дозу $Д = P_{ср}(t_2 - t_1)$.

При расчетах уровней радиации и доз облучения используют время, прошедшее после взрыва. Однако момент взрыва не всегда может быть известен. Для определения его необходимо сделать два замера уровней радиации (P_1 и P_2) с достаточным интервалом времени Δt между ними, а затем воспользоваться данными таблицы 9.

Таблица 9

Время после ядерного взрыва до первого измерения уровня радиации (в час.)

Δt \ P_2/P_1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,5	—	—	—	—	—	0,9	1,5	2,5	6,2
1	—	—	—	0,9	1,3	1,9	2,9	5	12,5
2	—	—	1,1	1,7	2,6	3,8	5,9	10	25
3	—	1	1,7	2,6	3,8	5,7	8,8	15	38
4	—	1,4	2,3	3,5	5,1	7,5	12	20	50
6	1	2,1	3,4	5,2	7,7	11	18	30	75
8	1,4	2,8	4,6	7	10	15	24	40	100
10	1,7	3,5	5,7	8,7	13	19	29	50	125

Пример: В 10.00 измеренный уровень радиации был равен $P_1 = 30$ р/ч, через 4 час. уровень радиации в том же месте был $P_2 = 15$ р/ч. Определить время ядерного взрыва.

В таблице интервалу времени $\Delta t = 4$ час. и отношению $\frac{P_2}{P_1} = 0{,}5$ соответствует время 5,1 час. Следовательно, взрыв произошел в 5.00.

С течением времени доза накапливается неравномерно. За первые 6 час. пребывания на зараженной местности человек может получить 30% максимально возможной дозы, в течение суток — до 50%; далее накопление дозы происходит более медленно.

Подземный взрыв. Особенность подземного взрыва — образование значительной воронки и выброс большого количества грунта. Часть его падает обратно в воронку, основная масса грунта разбрасывается по поверхности земли. Размеры воронки зависят от глубины и мощности взрыва и от свойств грунта.

При подземном взрыве радиоактивное облако поднимается на меньшую высоту по сравнению с наземным взрывом той же мощности. Заражение по следу облака подземного взрыва наблюдается на меньшей площади и на меньших расстояниях от центра взрыва. Площадь же с высокими уровнями радиации будет больше, чем при наземном взрыве.

Размеры и конфигурация зон заражения зависят от мощности и глубины взрыва, характера грунта, от скорости и направления ветра.

При взрыве в обычном грунте на не очень большой глубине может возникнуть волна в виде облака пыли («пылевая волна»), перемещающегося по поверхности земли под действием ветра. Эта волна может создать значительное заражение на больших расстояниях от места взрыва.

Взрывы на небольшой глубине аналогичны наземным взрывам. С увеличением глубины взрыва все большая часть радиоактивных продуктов остается вблизи места взрыва, т. е. внутри воронки и возле нее.

Подземный взрыв боеприпаса возможен на весьма небольшой глубине, равной глубине проникания его в грунт[1]. В этом случае практически все радиоактивные вещества выпадают на поверхность земли. Взрыв незначительно отличается от наземного своим поражающим действием. Однако радиоактивное заражение местности получается более сильным.

Максимальное заражение на следе радиоактивного облака наблюдают при взрывах на глубине $h = 10\sqrt[3]{q}$. Зона заражения получается больше, чем при наземном взрыве по длине в 1,5—2 раза и по ширине в 1,2—1,5 раза. С последующим увеличением глубины взрыва площадь зоны заражения уменьшается.

На уровень радиации при подземном взрыве большое влияние оказывает наведенная радиоактивность. Однако, как и при наземном взрыве, это излучение незначительно по сравнению с излучением продуктов деления.

Подводный взрыв. При подводном взрыве почти все радиоактивные продукты остаются в воде. Степень заражения зависит от глубины взрыва, характера водоема, метеорологических условий и т. д. Радиоактивное заражение воды усиливается за счет наведенной активности содержащихся в ней солей.

Уменьшение интенсивности заражения в данном случае происходит не только из-за радиоактивного распада, но также перемешивания зараженной воды с

---

[1] Исключение ядерные фугасы. Они могут быть заложены на большой глубине.

окружающей чистой водой и оседания радиоактивных частиц на дно водоема.

Подводный взрыв сопровождается образованием базисной волны. Распространение базисной волны и выпадение радиоактивного дождя в районе взрыва заражает различные объекты на поверхности воды. Радиоактивная вода сделает гавань или устье реки временно непригодными для использования; может оказаться зараженным и прибрежный район.

Появление базисной волны обусловлено наличием в районе взрыва влажных масс воздуха. В иностранной литературе приводились высказывания о том, что базисной волны может и не быть, если во время подводного взрыва будут преобладать сухие воздушные массы.

Спустя 4 часа после ядерного взрыва у Бикини (глубина взрыва 8—9 м) максимальный уровень радиации составлял 75 р/ч и наблюдался в зоне диаметром около 8 км. Если пересечь эту зону со скоростью 36 км/ч, то максимальная доза может быть не более 15 р. Однако длительное пребывание корабля в зараженном районе опасно первые один-два дня.

3. ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА СТЕПЕНЬ РАДИОАКТИВНОГО ЗАРАЖЕНИЯ. На степень заражения местности влияют метеорологические условия: ветер, дождь, снег, облачность.

При сильном ветре облако с радиоактивными веществами относится от места взрыва на большое расстояние. Выпадающая из него радиоактивная пыль распределяется на значительной площади. Размеры зараженного участка увеличиваются, а степень заражения уменьшается.

На направление и скорость ветра в приземных слоях атмосферы оказывают влияние рельеф местности и растительный покров. Чем резче выражен рельеф местности, тем более сложно движение воздуха, а это в свою очередь сказывается на неравномерном заражении отдельных участков местности. При обтекании воздушными массами возвышенностей и холмов более интенсивное оседание радиоактивных частиц, а следовательно сильное заражение будет наблюдаться на наветренной стороне. Подветренные скаты будут менее заражены.

Кроме ветра учитывают также вертикальное перемещение воздушных масс, оно определяется в основном распределением температуры воздуха над земной поверхностью.

В зимнее время снегопад способствует более быстрому выпадению радиоактивных веществ из облака и зараженность местности возрастет, а зараженность воздуха, наоборот, резко снизится. Если продолжается снегопад, излучение, испускаемое радиоактивными веществами, ослабляется слоем снега, уменьшается опасность заражения людей при движении на зараженной местности.

Облачность при ядерном взрыве может быть одной из причин местного выпадения радиоактивного дождя. В этом случае, а также если взрыв произошел во время дождя, радиоактивные вещества выпадают на местность вместе с капельками воды. Происходит более интенсивное заражение района, где прошел радиоактивный дождь. Значительное заражение возможно даже при воздушных ядерных взрывах.

Выпадение радиоактивного дождя можно объяснить теми же причинами, как и обычного дождя. После ядерного взрыва большие массы воздуха с водяными парами увлекаются вверх. С подъемом облака взрыва увеличивается приток влаги в верхние слои атмосферы. Кроме того, твердые частицы в облаке усиливают конденсацию водяных паров. Мелкие капли оседают на частицах с радиоактивными веществами, а затем могут выпасть в виде дождя.

Более вероятно выпадение радиоактивного дождя, когда облако взрыва проходит через дождевое облако и становится как бы частью его. Интенсивность дождя и размер района, где он выпадает, зависит от общей метеорологической обстановки и условий взрыва. Взрыв над водой при сильной облачности, как правило, сопровождается выпадением дождя. Например, при воздушном взрыве у Бикини (в районе Тихого океана) в течение двух-трех часов после взрыва над островами шел небольшой дождь. Основная его причина — наличие на небольшой высоте дождевых облаков. Дождь прошел над большой площадью, но радиоактивный дождь выпал только в зоне прохождения атомного облака.

Высота дождевой облачности обычно не превышает

6 км. Большая же часть радиоактивных продуктов при взрывах мощностью более 5 тыс. т быстро поднимается выше этой границы. Вот почему продукты взрыва недолго остаются в дождевых облаках, а выпадение радиоактивных осадков не будет заметным. Дождь во многих случаях уменьшает зараженность поверхностных слоев почвы: радиоактивные вещества смываются дождевыми потоками или проникают вместе с водой в более глубокие слои почвы.

4. РАДИОАКТИВНОЕ ЗАРАЖЕНИЕ ВОЗДУХА. Заражение воздуха радиоактивными продуктами взрыва вблизи поверхности земли сильно зависит от метеоусловий, характера растительности и состояния поверхности грунта. Ведь, кроме радиоактивной пыли, в воздухе имеются и газообразные продукты взрыва, например, радиоактивные инертные газы криптон и ксенон. Однако у изотопов этих элементов сравнительно небольшой период полураспада, и активность их с течением времени быстро уменьшается.

Основная масса радиоактивных веществ — в облаке взрыва. Предполагают, что при наземном взрыве 90% суммарной активности распределены в самом облаке и лишь 10% — в пылевом столбе («ножке» облака). Облако — мощный источник радиоактивного излучения.

Высота подъема облака зависит от мощности взрыва, от стабильности атмосферы (температурного градиента) и плотности окружающего воздуха. На максимальную высоту подъема влияет и положение тропопаузы — переходного слоя между тропосферой и стратосферой [1].

Ориентировочные данные о высоте подъема и размерах облака ядерного взрыва приводятся в таблице 10.

При прохождении самолета через радиоактивное облако экипаж его подвергается облучению. От чего зависит доза? Она определяется: гамма-излучением радиоактивных продуктов в облаке; гамма-, бета-, альфа-излучением зараженного воздуха в кабине самолета; гамма-излучением радиоактивных веществ, оставшихся на самолете после пролета облака взрыва.

---

[1] В зависимости от времени года и географической широты высота тропопаузы может изменяться от 8—11 км до 15—18 км.

Таблица 10

Высота подъема и радиус радиоактивного облака

Мощность взрыва, тыс. т	Высота подъема, км		Радиус облака, км
	вершина облака	основание облака	
1	3,3	2,4	0,9
2	4,6	3,7	1,2
5	7,0	5,5	1,7
10	8,0	6,7	2,3
20	10	8,2	3,1
50	12	9,8	4,6
100	14	11	6
500	19	13	12
1000	21	14	16
5000	27	16	29

Велико ли воздействие на экипаж самолета гамма-излучения облака, т. е. внешнего облучения? Оно зависит от уровня радиации в облаке, продолжительности полета и от направления полета относительно центра облака. Уровень радиации в облаке непрерывно уменьшается из-за распада радиоактивных веществ и оседания их на поверхность земли. Размеры облака увеличиваются, форма его приближается к яйцевидной. Чем больше времени прошло после взрыва, тем сильнее размываются внешние очертания облака воздушными потоками и тем сложнее форма его. Через час после взрыва ядерной бомбы с тротиловым эквивалентом 20 тыс. т объем облака примерно 300 км^3. При равномерном распределении в облаке радиоактивных веществ концентрация их составляет 0,02 милликюри на литр воздуха.

Радиоактивные вещества распределяются в облаке неравномерно, поэтому и уровень радиации не постоянный. Если предположить, что радиоактивные вещества по объему облака распределены равномерно, то максимальный уровень радиации в центре облака, к внешней границе облака он уменьшается примерно вдвое.

На основе данных, приводимых в иностранной печати, можно считать, что полученная экипажем доза при

одно-двухминутном пролете через сформировавшееся облако будет меньше допустимой, если после взрыва прошел примерно час времени. Но даже и в том случае, когда пролет происходит через полчаса после взрыва, доза будет меньше допустимой при однократном облучении. Величина дозы зависит не только от скорости полета, но и от конструкции самолета. Гамма-лучи поглощаются баками с горючим, двигателем и др.

Опасен для экипажа поступающий в кабину воздух, зараженный радиоактивными веществами. Если исключить возможность попадания такого воздуха в кабину, то воздействовать на экипаж будет только внешнее гамма-излучение.

При пролете самолета через облако происходит заражение его внешних поверхностей, двигателя и прочих элементов, куда может затекать воздух. Радиация зараженного самолета действует на экипаж в течение всего времени полета после прохождения атомного облака. Зараженный самолет не опасен для экипажа с точки зрения облучения при последующих полетах. Однако при работе на нем, особенно с двигателями, соблюдают меры предосторожности.

5. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЙОНОВ РАДИОАКТИВНОГО ЗАРАЖЕНИЯ[1]. Своевременное определение предполагаемых районов радиоактивного заражения дает возможность вовремя принять меры защиты и уменьшить или даже исключить поражения личного состава и населения на зараженной местности.

Для прогнозирования районов радиоактивного заражения необходимо знать мощность и вид ядерного взрыва, его координаты и время, направление и скорость среднего ветра. При получении таких сведений на карте (или кальке в масштабе карты) отмечают центр наземного взрыва и от него проводят ось следа в направлении среднего ветра. Здесь же указывается и момент взрыва. Далее с помощью таблиц или дозиметрической (радиационной) линейки определяют размеры заражения с заданными уровнями радиации.

---

[1] Этот вопрос более подробно рассмотрен в книге Б. Н. Тимофеева и Ю. К. Несытова «Прогнозирование радиоактивного заражения». М., Воениздат, 1969 г.

В США в войсковой практике за зону заражения принято считать участок местности с уровнем радиации 0,5 р/ч и выше. По степени опасности принято зону заражения делить на зоны умеренного, сильного и опасного заражения (рис. 53). В зоне умеренного заражения пребывание личного состава без необходимости нежела-

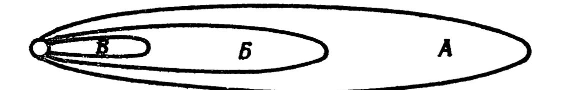


Рис. 53. Зоны умеренного (*А*), сильного (*Б*) и опасного (*В*) заражения на следе радиоактивного облака

тельно. Однако действия войск вполне возможны, так как даже в течение первых суток после ее образования открыто расположенный личный состав не будет облучен выше допустимых норм. При действиях войск в зоне сильного заражения в течение первых суток после ее образования могут быть значительные потери личного состава. В зоне опасного заражения нельзя находиться даже непродолжительное время. По своим размерам зоны сильного и опасного радиоактивного заражения во много раз меньше зоны умеренного заражения.

Прогнозирование зон заражения дает грубое представление о контурах зон заражения и уровнях радиации. Возможное изменение направления среднего ветра расширяет вероятные границы района заражения. Данные прогнозирования ориентировочные и потому, что относятся к плоской незастроенной земной поверхности. В условиях города средняя суммарная доза радиации из-за зданий и деревьев может оказаться на 25—30% ниже, чем на открытой местности.

6. ПОРАЖАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ. Как во время пребывания человека на зараженной местности радиоактивные излучения воздействуют на его организм? Возможно воздействие при отсутствии непосредственного контакта с радиоактивными веществами (внешнее облучение) и воздействие излучений радиоактивных веществ, попавших на кожу, слизистые оболочки или внутрь организма. Решающее значение имеет внешнее облучение, в основном

гамма-лучей. При облучении так же, как и при действии гамма-лучей проникающей радиации, могут возникнуть лучевые заболевания. Однако если проникающая радиация действует на организм несколько секунд, то на радиоактивно зараженной местности гамма-лучи действуют более длительное время.

Чтобы оценить возможное поражение гамма-излучением на зараженной местности, узнайте не только дозу, но и время, в течение которого она получена. Для предсказания тяжести заболевания американские специалисты предложили пользоваться понятием «эффективная доза», а не доза вообще.

Эффективной дозой называют общую дозу облучения с учетом поправок на процессы восстановления в организме человека. Считают, что у человека, получившего данную эффективную дозу, будет наблюдаться примерно та же картина лучевого поражения, как и при кратковременном облучении той же дозой. Эффективная доза в любое время после начала облучения вычисляется на основе следующих предположений:

1) 10% лучевого поражения не восстанавливаются и считаются необратимыми. Соответствующая им доза, называемая остаточной, может быть причиной отдаленных последствий облучения;

2) 90% поражения восстанавливается. Приблизительно половина обратимой части лучевого поражения исчезает через месяц, а все возможное восстановление происходит за три месяца;

3) В первые 4 суток с начала облучения восстановление не происходит. Поэтому доза, полученная за любой промежуток времени в пределах 4 суток, считается кратковременной или однократной. Продолжительность облучения в одном случае может быть 10 мин., а в другом — 3 дня, но в обоих случаях восстановление пораженных клеток начинается спустя 4 суток с начала облучения.

Расчет эффективной дозы производится по формуле

$$Д_{эф} = аД_0 + вД,$$

где *а* — коэффициент для дозы $Д_0$ однократного облучения,

в — коэффициент для дозы Д при длительном (многократном) облучении.

Значения коэффициентов «а» и «в» приводятся в таблице 11.

Таблица 11

Время облучения, дни	7	15	30	60	90	150	300
а	0,95	0,78	0,57	0,32	0,20	0,13	0,10
в	2,7	9	18	30	38	47	60

Пример. При однократном облучении получена доза $Д_0 = 50$ р. Последующее облучение в течение 15 дней проводилось дозами $Д = 5$ р. в день. Определить эффективную дозу к концу 15-го дня.

Решение. $Д_{эф} = 0{,}78 \cdot 50 + 9 \cdot 5 = 39 + 45 = 84$ р.

Для защиты от внешнего облучения используются различные сооружения и укрытия. Зараженные окопы, щели, траншеи снижают облучение в три раза, а дезактивированные окопы, щели и траншеи — в 20 раз; перекрытые щели — в 40 раз; автомобили, бронетранспортеры и танки — соответственно в 2,4 и 10 раз. Деревянные дома уменьшают внешнее облучение в 3—5 раз, одноэтажные каменные дома — в 10—15 раз, подвалы в каменных домах — в 200—300 раз.

Радиоактивные вещества попадают внутрь организма чаще всего вместе с воздухом, что особенно возможно при движении по зараженной местности в сильный ветер. Занесение радиоактивных веществ внутрь организма возможно также вместе с пищей, водой, при соприкосновении с зараженными предметами.

В реальной обстановке воздействием альфа- и бета-активных изотопов на кожные покровы, как и внутренним заражением, можно пренебречь. Почему? Из-за малой растворимости продуктов взрыва и легкости удаления их с кожных покровов.

Попадание радиоактивных веществ внутрь организма полностью исключается при использовании индивидуальных средств защиты. Достаточно просто можно обеспечить защиту от заражения продовольствия и питьевой воды. В ряде случаев допускается потреблять продукты и воду, зараженные в определенных пределах.

Например, в США при чрезвычайных условиях разрешается потреблять воду в течение 10 суток, если степень ее заражения не превышает 180 000 расп/мин·см³.

Своевременно принятые меры по защите полностью обеспечивают безопасность войск при действиях на радиоактивно зараженной местности после ракетно-ядерного удара. В следующей главе мы расскажем о поражающем действии высотного взрыва ракетно-ядерного оружия.

VII. ПОРАЖАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ВЫСОТНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА

1. ВНЕШНЯЯ КАРТИНА ВЫСОТНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА. По мнению зарубежных специалистов перехват и уничтожение боевой части баллистической ракеты противника должен производиться на таких высотах, чтобы цель и прилегающие к ней районы не получали значительных повреждений в случае взрыва боевой части ракеты. Указывается, что для этого боевую часть баллистической ракеты нужно перехватывать на высотах не менее 80 км.

Внешняя картина ядерного взрыва, а также его поражающее действие в большой степени зависят от той среды, в которой происходит взрыв. Плотность атмосферы, начиная с поверхности земли до высоты порядка 130 км, может быть представлена с достаточной для практики точностью формулой

$$\rho \approx \rho_0 \cdot 10^{-\frac{H}{16}},$$

где ρ_0 — плотность воздуха на уровне моря,
ρ — плотность воздуха на высоте H километров.

Из этой формулы видно, что при изменении высоты на 16 км плотность воздуха уменьшается примерно в 10 раз.

На высоте 80 км плотность воздуха будет примерно в 100 000 раз меньше, чем у поверхности земли. Такая малая плотность воздуха оказывает существенное влияние на развитие огненного шара, распределение энергии

между поражающими факторами. Взрывы на большой высоте вызывают также обширные возмущения в ионосфере, которые мешают распространению радиоволн.

Какова внешняя картина высотного ядерного взрыва? Как уже указывалось в главе IV, сразу же после взрыва температура его продуктов — несколько десятков миллионов градусов, а давление достигает миллиардов атмосфер. При такой температуре газообразных продуктов уносится мягким рентгеновским излучением около 70% общей энергии взрыва. При взрыве у земли эти лучи полностью поглощаются близлежащими (к точке взрыва) слоями воздуха и нагревают его. Из-за этого и образуется огненный шар — мощный источник светового излучения.

В иностранной печати указывается, что при взрыве на больших высотах вероятность взаимодействия мягких рентгеновских лучей с атомами и молекулами воздуха значительно меньше, чем у земли. Поэтому эти лучи пройдут большие расстояния от места взрыва, прежде чем они поглотятся воздухом. При ядерном взрыве на высотах от 60 до 110 км мягкие рентгеновские лучи будут поглощены воздухом лишь на расстояниях нескольких (и даже десятка) километров от точки взрыва. Поскольку количество энергии взрыва, переносимое мягкими рентгеновскими лучами, большое, оно будет достаточным, чтобы нагреть воздух до высокой температуры. Образуется огненный шар — источник светового излучения. Повышение температуры воздуха вызывает повышение его давления. Поэтому огненный шар будет быстро увеличиваться в своих размерах.

Как указывается в иностранной печати, в одном из высотных американских взрывов мощностью в несколько мегатонн на высоте 77 км за 0,3 сек. после взрыва диаметр огненного шара составлял уже 17,6 км, а за 3,5 сек. он возрос до 29 км. При этом огненный шар поднимался с большой скоростью вверх. Начальная скорость его подъема около 1,6 км/сек. Примерно через минуту после взрыва огненный шар был на высоте 145 км. Скорость его подъема в это время составляла около 1 км/сек. В горизонтальном направлении шар увеличивался со скоростью приблизительно 0,3 км/сек.

Облако взрыва поднималось до высот более 160 км, а затем из-за очень малой плотности воздуха на этих

высотах вновь опускалось до высоты порядка 135 км. Дальнейшее опускание облака будет замедлено увеличением плотности атмосферы. Как же распределяется энергия ядерного взрыва на высотах 60—110 км? Проникающая радиация (поток нейтронов и гамма-лучей) — до 5% энергии взрыва; световое излучение — свыше 50%; радиоактивные излучения продуктов взрыва уносят около 10%. Остальная энергия образует ударную волну и уносится мягкими рентгеновскими лучами.

Считается, что при взрывах на высотах от 110 км до нескольких сотен километров процессы развития взрыва будут иными, чем описанные. Мягкие рентгеновские лучи, не встречая частиц воздуха вследствие малой его плотности, будут распространяться на большие расстояния от места взрыва. Немедленно после взрыва продукты его, имея высокую температуру и давление, расширяются от точки взрыва с большой скоростью. Они не встречают заметного сопротивления со стороны сильно разряженной окружающей среды. Однако поскольку продукты взрыва, имея высокую температуру, состоят в основном из ионов и электронов, т. е. плазмы, то магнитное поле Земли играет важную роль в процессе замедления их расширения.

Установлено, что плазма всегда имеет тенденцию вытеснять линии магнитного поля из своего внутреннего пространства. В процессе расширения продуктов взрыва будет происходить вытягивание (искажение) силовых линий магнитного поля Земли так, что силовые линии будут проходить вне проводящего пространства, образованного продуктами взрыва. Вытягивание силовых линий требует затраты определенного количества энергии, направленной против сил поля со стороны продуктов взрыва. Когда их энергия уменьшится до такого значения, что станет равной напряженности магнитного поля Земли, распространение продуктов взрыва прекратится. Указывается, что при мегатонном взрыве это происходит в радиусе примерно 1000 км, а при килотонном — в радиусе около 100 км от точки взрыва.

Дальнейшее поведение продуктов взрыва ученые в США точно предсказать не могут из-за недостатка экспериментальных данных. В печати приводятся теоретические соображения о дальнейшем их поведении. Часть из них, по-видимому, вследствие рекомбинации ионов и

электронов станет электрически нейтральной. Другая часть при перемещении книзу будет остановлена и нейтрализована атмосферой земли. Третья часть из заряженных частиц (ионов и электронов) захватывается магнитным полем Земли.

На высотах 110 км и выше энергия ядерного взрыва распределяется лишь между одними излучениями, а именно: мягкие рентгеновские лучи уносят около 70% энергии взрыва; доля энергии взрыва, идущая на проникающую радиацию и радиоактивное излучение продуктов взрыва, не зависит от высоты взрыва и равна 15%; на световое излучение расходуются остальные примерно 15% энергии взрыва. На этих высотах вследствие малой плотности воздуха ударной волны не образуется.

2. ПОРАЖАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ВЫСОТНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА. Объектами, подлежащими поражению ядерным взрывом на больших высотах, будут прежде всего боевые части баллистических ракет. Ядерным взрывом могут поражаться также спутники, необитаемые и обитаемые космические корабли, ракетопланы и другие космические летательные аппараты.

Каким же образом ядерный взрыв воздействует на эти объекты и какие поражающие факторы главные?

На высотах порядка 100 км из-за малой плотности воздуха образуется очень слабая воздушная волна. Поэтому действие ударной волны на боевую часть баллистической ракеты незначительно. Кроме того, при взрыве ядерного заряда позади ракеты, движущейся с огромной скоростью (порядка 7 км/сек.), ударная волна не догонит ее. Можно ли разрушить боевую часть баллистической ракеты ударной волной? Да, можно, если ядерный взрыв, указывается в иностранной печати, осуществить впереди ракеты и в самой непосредственной близости от нее.

В иностранной печати утверждается, что действие светового излучения на боевую часть баллистической ракеты также будет незначительным. Конструкция боевой части ракеты рассчитана на то, чтобы выдержать очень высокие температуры, развивающиеся при входе ракеты в плотные слои атмосферы. Указывается, например, что при вхождении головной части ракеты

«Минитмэн-II» в плотные слои атмосферы была зарегистрирована температура около 6650° С. Даже при прохождении боевой части ракеты через огненный шар она не получит каких-либо существенных повреждений вследствие скоротечного воздействия высоких температур. Если головная часть ракеты движется со скоростью 8000 м/сек через центр огненного шара диаметром 800 м, она будет подвержена действию высоких температур всего лишь 0,1 сек.

В боевых частях ракет может быть создана специальная защита. По сообщению иностранной печати ВВС США проводят работы по созданию высокопрочного абляционного материала. Он может одновременно защитить головные части ракет и от теплового воздействия ядерного взрыва. Как указывается, за основу взяты смолы различного состава, армированные высокопрочным волокном.

Как проявляется действие мягких рентгеновских лучей? Распространяясь от места взрыва прямолинейно, они поглощаются корпусом головной части баллистической ракеты или другого летательного аппарата той ее частью, которая обращена в сторону взрыва. Поскольку на долю мягких рентгеновских лучей приходится около 70% энергии ядерного взрыва, под их действием разогреваются, а затем испаряются верхние теплозащитные слои корпуса головной части. Войдя в плотные слои атмосферы, такая головная часть может разрушиться от чрезмерных тепловых нагрузок при аэродинамическом нагреве. По подсчетам американского физика Р. Лэппа[1], взрыв ядерного заряда антиракеты мегатонной мощности мог бы обеспечить уничтожение головной части ракеты противника, не имеющей специальной защиты от мягких рентгеновских лучей, в радиусе около двух километров от места взрыва.

Мягкие рентгеновские лучи — один из поражающих факторов высотного ядерного взрыва для головных частей баллистических ракет и других космических летательных аппаратов.

Поток нейтронов — другой поражающий фактор для ядерных головок частей ракет. При взрыве в плотных

---

[1] См Р. Лэпп. Убийство и сверхубийство. М., Воениздат, 1964.

слоях атмосферы нейтроны (испускаемые ядерным взрывом), сталкиваясь с атомами воздуха, замедляются, а потом захватываются ими. При взрыве в космосе эти нейтроны беспрепятственно распространяются на большие расстояния. Как же нейтроны поражают ядерные головные части ракет? Вот как об этом рассказывается в одном американском журнале. Встретив на своем пути головную часть ракеты, нейтроны проникают через ее корпус и другие детали и попадают в ядерный заряд. Под действием нейтронов происходит деление ядер урана или плутония, которое сопровождается выделением тепловой энергии. Под влиянием выделившегося тепла ядерный заряд плавится и головная часть выходит из строя. По расчетам Р. Лэппа поток нейтронов при высотном взрыве антиракеты мощностью в одну мегатонну может обеспечить уничтожение ядерной головной части баллистической ракеты противника (без специальной защиты от потока нейтронов) на удалении около двух километров от точки взрыва.

Американские специалисты считают наиболее выгодным для борьбы с ракетами термоядерный взрыв, ибо он дает примерно в 30 раз больше нейтронов, чем атомный взрыв. Кроме того, нейтроны термоядерного взрыва обладают значительно большей энергией, чем нейтроны атомного взрыва.

О поражающем действии гамма-лучей на боевую часть баллистической ракеты сведений в американской литературе почти не встречается. Р. Лэпп пишет, что под действием гамма-лучей произойдет ионизация элементов автоматики, поэтому может сработать детонирующее устройство ядерного заряда головной части ракеты и произойти самопроизвольный взрыв.

В иностранной литературе приводятся некоторые данные о влиянии проникающей радиации на электронное оборудование искусственных спутников Земли. По данным американской фирмы «Дженерал электрик», постоянные аварии с полупроводниками — результат воздействия на них гамма-лучей и нейтронов. Если произвести взрыв ядерного заряда мощностью в 1 млн. т на большой высоте, то от действия гамма-лучей полупроводниковые электронные системы спутников могут выйти из строя на расстоянии 6,4 км от центра взрыва, а от потока нейтронов — на удалении 29 км. Кроме то-

го, от радиации могут возникнуть переходные процессы в замкнутых электронных системах, которые на некоторое время нарушат их работу. Такие явления могут происходить на расстояниях до 160 км от центра взрыва.

Большую опасность проникающая радиация будет представлять для обитаемых космических кораблей. Считается, что на больших высотах поглощением гамма-лучей и нейтронов практически можно пренебречь. Уменьшение доз облучения будет происходить только в соответствии с законом, по которому доза проникающей радиации обратно пропорциональна квадрату расстояния от центра взрыва. В связи с этим указывается, что расстояния, на которых доза радиации для космонавтов смертельна, будут измеряться несколькими сотнями километров.

Проникающая радиация — второй поражающий фактор высотного ядерного взрыва для ядерных головных частей баллистических ракет, спутников и обитаемых космических летательных аппаратов. К поражающим факторам можно отнести также продукты ядерного взрыва, распространяющиеся с огромной скоростью от места взрыва. Взаимодействуя с головной частью ракеты, они могут нанести ей поражение.

Электромагнитные эффекты при высотном ядерном взрыве. Ядерному взрыву сопутствуют электромагнитные эффекты двух видов. Первый — в излучении взрывом короткого мощного электромагнитного импульса. Второй вид эффектов связан с изменением электрических свойств атмосферы из-за ионизации воздуха и выделения взрывом большого количества заряженных частиц. По данным иностранной печати, рассмотрим кратко эти эффекты и покажем, какое влияние они могут оказать на радиоаппаратуру и распространение электромагнитных волн в радиосвязи и радиолокации.

Электромагнитный импульс ядерного взрыва. И небольшие взрывы обычных взрывчатых веществ сопровождаются электромагнитными импульсами. Очень мощные импульсы этого типа образуются при ядерных взрывах. В зависимости от высоты ядерного взрыва в иностранной литературе различают два механизма образования электромагнитного импульса.

Каков же при взрыве у земли или на небольших высотах механизм образования импульса? Под действием гамма-излучения ядерного взрыва происходит ионизация атомов воздуха. Появляющиеся при этом электроны движутся с высокими скоростями в направлении от центра взрыва. Так как плотность воздуха сверху от места взрыва меньше, чем снизу, то получается асимметрия в распределении электрического заряда (потока электронов) в области, окружающей место взрыва. Асимметрия потока электронов может получиться также и из-за несимметричности самого потока гамма-лучей ввиду разной толщины оболочки бомбы и других факторов. Из-за этой несимметричности электрического заряда (потока электронов) в месте взрыва образуется импульс тока, он излучает электромагнитную энергию, как при прохождении тока в антенне. Это излучение образует первую часть электромагнитного импульса ядерного взрыва.

Последующая часть получается из-за колебания ионизированного газа (плазмы), образующегося в месте взрыва. Эти колебания происходят несколько миллисекунд и излучают значительное количество энергии. При взрыве на больших высотах взаимодействие гамма-лучей с воздухом будет незначительным, и здесь механизм образования электромагнитного импульса будет другим. В этом случае радиоимпульс получается вытеснением магнитного поля Земли из-за быстрого расширения продуктов взрыва (хорошо проводящей плазмы). Этот механизм образования импульса иногда называют моделью смещения поля. Многочисленные ядерные взрывы показали, что большая часть энергии электромагнитного импульса излучается на низких частотах 10—15 Кгц.

В иностранной печати указывается, что незначительная часть электромагнитной энергии при ядерном взрыве излучается также и на больших частотах порядка 100 Мгц.

Электромагнитный импульс ядерного взрыва используется системой обнаружения взрывов. С помощью радиопеленгационной аппаратуры можно вычислить азимутальный угол с точностью до 2°. Это соответствует ошибке около 50 км на расстоянии 1600 км. Одно из преимуществ этого метода обнаружения ядерного взры-

ва — малое время от момента взрыва до момента принятия сигнала (небольшой доли секунды).

Электромагнитный импульс иностранные военные специалисты стали считать поражающим фактором ядерного взрыва для электрической и электронной аппаратуры. Отмечается, что мощный электромагнитный импульс ядерного взрыва подобно молнии может навести электротоки в антеннах, кабелях, линиях электропередачи, проводах и т. п. Из-за этого — как отмечает американский журнал «Мисайлс энд рокитс» — может произойти расплавление проводов, выгорание электросхем, пробивание изоляции, ионизация диэлектриков и другие поражения. Радиус действия электромагнитного импульса, вызывающего подобные явления, будет зависеть от мощности взрыва. Журнал указывает, что при низком воздушном взрыве бомбы мощностью в 1 Мгт этот радиус будет 32 км, при взрыве бомбы мощностью 10 Мгт — 115 км, а у бомбы мощностью 50 Мгт — 190 км. К числу других явлений, которые могут возникнуть за пределами этих радиусов, относят повреждение или перегорание выключателей, ошибки в вычислительных машинах, расплавление плавких предохранителей и помехи в работе различных систем связи. Журнал отмечает, что поражения электрической и электронной аппаратуры наблюдались при всех ядерных испытаниях США. Приводится по этому поводу ряд примеров. Указывается, что на начальной стадии испытаний водородных зарядов малой мощности в районах испытаний наблюдались повреждения линий электропередач. Автоматические выключатели основных питающих сетей оказывались отключенными из-за перенапряжения на расстоянии около 130 км от места взрыва.

В иностранной печати указывается, что электромагнитный импульс ядерного взрыва может также стать одним из средств борьбы с баллистическими ракетами, когда они еще находятся на земле в шахтах. В системе управления ракеты «Минитмэн» имеется кодовый диск с электромагнитной записью сигналов, приказывающих ракете, куда и как направиться после запуска. Электромагнитный импульс ядерного взрыва может исказить или вообще стереть магнитную запись в «мозгу» ракеты «Минитмэн» на расстоянии нескольких десятков миль от места взрыва.

Приведенные выше американские сведения о поражающем действии электромагнитного импульса даны без учета мер специальной защиты. Применяя меры защиты, можно уменьшить действие электромагнитного импульса на электро- и радиооборудование.

3. ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЫСОТНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА РАДИОСВЯЗЬ И РАДИОЛОКАЦИЮ. После высотного ядерного взрыва появляются области с большой концентрацией электронов. Работа многих систем связи и радиолокационных систем зависит от концентрации электронов верхних слоев атмосферы. Очевидно, что ядерный взрыв окажет сильное влияние на работу этих систем.

Значительная концентрация электронов всегда внутри огненного шара. Это происходит из-за ионизации продуктов взрыва вследствие высокой температуры и испускания радиоактивными продуктами электронов в процессе бета-распада.

Под действием проникающей радиации (потока гамма-лучей и нейтронов), ультрафиолетовых и мягких рентгеновских лучей ядерного взрыва происходит ионизация атмосферы за пределами огненного шара. В зависимости от высоты взрыва и его мощности за пределами огненного шара в атмосфере могут возникнуть не одна, а несколько областей с повышенной концентрацией электронов. Эти области будут оказывать влияние на распространение радио- и радиолокационных сигналов, траектории распространения которых проходят через них, а также препятствовать полетам космонавтов и вызывать другие нежелательные явления.

В иностранной литературе рассматривается физическая сущность образования указанных областей при высотных ядерных взрывах и показывается, какое влияние они оказывают на радиосвязь и радиолокацию.

Взрывы на разных высотах создают различные по форме и величине ионизированные области. Безопасные высоты перехвата боевых частей баллистических ракет лежат выше 80 км, поэтому в иностранной печати рассмотрено образование ионизированных областей только на этих высотах. Что же характерно для этих высот взрыва?

Указывается, что гамма-лучи и нейтроны (проникающая радиация), а также ультрафиолетовые и мягкие рентгеновские лучи будут распространяться во все стороны от места взрыва на большие расстояния из-за малой плотности атмосферы. Например, при взрывах на высотах 60—110 км толщина слоя воздуха, соответствующая ослаблению гамма-лучей и нейтронов до 0,1 от начальной интенсивности,— несколько тысяч километров. Часть указанных излучений, распространяющаяся кверху, почти полностью уходит за пределы земной атмосферы и рассеивается в мировом пространстве. Другая же часть излучений, идущая в направлении Земли, попадает в плотные слои атмосферы и вызывает возбуждение и ионизацию частиц воздуха в слое Д в пределах высот 65—80 км (рис. 54). В дальнейшем, переходя в нормальное состояние, атомы частиц воздуха испускают избыточную энергию как видимое излучение. Оно наблюдается в виде многоцветного искусственного полярного сияния (красные, зеленые, фиолетовые и другие линии).

Ионизация воздуха происходит и в других слоях нормальной атмосферы: в слое Е (80—130 км) и слое F (свыше 130 км). Однако для электромагнитных волн, лежащих в диапазоне радио- и радиолокационных частот, условия таковы, что максимальное их затухание будет главным образом в пределах слоя толщиной 16 км на средней высоте около 72 км.

В иностранной печати указывается, что из всех приведенных выше излучений ядерного взрыва на высотах выше 60 км мягкие рентгеновские лучи — основной ионизирующий фактор воздуха в слое Д. Они переносят примерно две трети энергии взрыва.

Ионизация в слое Д от излучений ядерного взрыва происходит на довольно значительном его протяжении, в несколько сотен и даже тысяч километров (в зависимости от высоты взрыва). Например, при взрыве на высоте 480 км только гамма-лучи будут создавать заметную ионизацию в слое Д на протяжении около 4800 км.

После взрыва на больших высотах для бета-частиц, испускаемых радиоактивными продуктами деления, возникают новые условия. На гамма-лучи, нейтроны,

ультрафиолетовые и рентгеновские лучи магнитное поле Земли не действует. Заряженные частицы, оказавшись в магнитном поле Земли, будут двигаться вдоль магнитных силовых линий, проходящих через радиоактивное

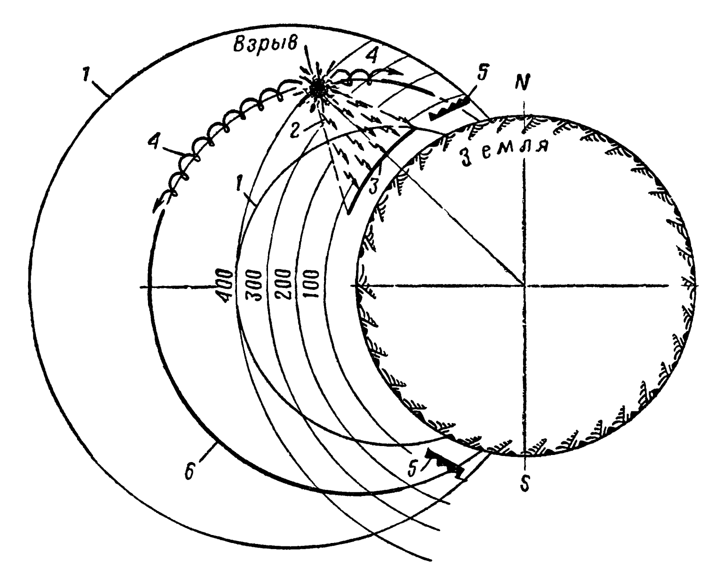


Рис. 54. Явления, возникающие при ядерном взрыве на большой высоте:

1 — магнитные силовые линии Земли; *2* — излучения от взрыва, идущие в направлении Земли; *3* — область ионизации воздуха в слое Д; *4* — траектория движения электронов (бета-частиц) относительно магнитной силовой линии; *5* — области ионизации воздуха в сопряженных точках; *6* — радиационный пояс (слой)

облако, к полюсам по спиральной кривой относительно этих линий. При этом около половины электронов (бета-частиц) радиоактивного облака будет двигаться к Южному полюсу, а другая половина — к Северному полюсу.

Радиус спиральной кривой зависит от энергии электрона и удаленности магнитной силовой линии от поверхности Земли (напряженности магнитного поля). Для электронов, испускаемых осколками деления атомных ядер, радиус спиральной кривой на высотах примерно 100 км — около 160 м. Двигаясь вдоль магнит-

ной силовой линии к полюсам, электроны неизбежно войдут в плотные слои атмосферы и примерно на высоте 72 км будут возбуждать и ионизировать атомы и молекулы воздуха. Там, где магнитные силовые линии, проходя через радиоактивное облако, входят в слой Д, создаются две области ионизации — одна у Северного полюса, другая у Южного. Эта ионизация сопровождается искусственными полярными сияниями. Области, в которых возникают полярные сияния, находятся на одинаковом расстоянии от экватора, их часто называют сопряженными областями. Если произвести ядерный взрыв в одной из них, то в другой вызывается искусственное полярное сияние. Продолжительность сияний зависит от высоты взрыва, его мощности и некоторых других факторов.

Каждая область ионизации имеет ориентировочно такую же протяженность, как и радиоактивное облако, а его вертикальная толщина равна примерно 16 км (по обе стороны от высоты 72 км). Плотность электронов в каждой области ионизации — приблизительно половина той, которую можно было бы ожидать, если бы радиоактивное облако находилось в данной точке.

Что же дальше происходит с бета-частицами? Часть из них присоединяется к нейтральным частицам воздуха в плотных слоях воздуха около сопряженных областей. Другая из-за возрастания напряженности магнитного поля в районе сопряженных областей возвращается (отражается) обратно. Как известно, если напряженность магнитного поля увеличивается в направлении движения заряженной частицы, то на нее начинает действовать сила, направленная в обратную сторону движения (в сторону уменьшения напряженности поля). Эта сила тормозит частицу. Спиральная траектория частицы становится более крутой. Наконец, когда напряженность поля станет равной $H = \frac{H_0}{\sin^2\alpha_0}$, где H_0 — напряженность в начальной точке траектории, а α_0 — угол между скоростью частицы и направлением силовой линии в начальной точке, частица меняет направление движения на обратное и начинает уходить в сторону слабого магнитного поля.

Следовательно, область сильного магнитного поля при некоторых условиях может играть по отношению к

частицам, перемещающимся вдоль силовых линий, роль своеобразного магнитного зеркала.

На основании этого электроны, испускаемые радиоактивным облаком, будут двигаться от одной сопряженной области к другой, образуя в околоземном пространстве искусственный радиационный пояс (см. рис. 54). В действительности взаимодействие заряженных частиц с магнитным полем Земли происходит гораздо сложнее.

Например, кроме движения электронов вдоль магнитных силовых линий они имеют также тенденцию к движению перпендикулярно силовым линиям. Эта тенденция проявляется из-за непостоянства магнитного поля Земли с высотой. В результате этого происходит отклонение движения электронов в восточном направлении вокруг Земли. Оно накладывается на их спиральное движение вперед и назад между сопряженными областями.

В зависимости от высоты и мощности взрыва радиационный пояс может существовать несколько часов, дней и даже месяцев. В первые часы после взрыва плотность электронов в поясе будет наибольшей, а затем постепенно уменьшается из-за рекомбинации электронов с ионами и прилипания электронов к нейтральным частицам. Так, при высотных ядерных взрывах происходит нарушение на больших пространствах верхних проводящих слоев земной атмосферы, возникают области поглощения радиоволн и образования в околоземном пространстве нового радиационного пояса.

Как же эти явления влияют на радиосвязь и радиолокацию? На сверхдлинные, длинные и средние радиоволны они оказывают малое влияние. Больше влияют на распространение радиоволн коротковолнового диапазона (частоты от 3 до 30 Мгц), которые широко используются для дальней связи. Короткие радиоволны распространяются от передатчика к приемнику, последовательно отражаясь от естественных ионизированных слоев ионосферы и Земли. В условиях ядерного взрыва короткие волны, попадая в слои ионосферы с повышенной плотностью электронов, сильно ослабляются вследствие их поглощения. Плотность электронов порядка 10^8 эл/см^3 обычно достаточна, чтобы значительно ослабить радиоволны нижней части диапазона. Плотность электронов

10^4 эл/см^3 достаточна для ослабления верхней части коротковолнового диапазона.

При ядерном взрыве мощностью в одну мегатонну на больших высотах ионизированные области вызовут прекращение коротковолновых линий радиосвязи, если трассы их проходят на расстояниях до тысячи километров от места взрыва. Для восстановления нормальной связи требуется до 5 час. и более. Длительный перерыв радиосвязи может нарушить нормальную жизнь ряда районов Земли, в частности создать серьезные затруднения морскому и воздушному транспорту в значительном районе около места взрыва. Движение большого количества электронов в верхних слоях атмосферы с переменной скоростью сопровождается также радиоизлучениями различных частот, которые воспринимаются радиоприемными устройствами в виде шумов. Таким же эффектом будут сопровождаться и искусственные полярные сияния, а в районе сопряженных областей, в Северном и Южном полушариях, нарушается работа всех средств связи.

Ионизированные области от ядерного взрыва могут нарушить также работу радиолокационных систем. Как известно, в радиолокаторе приемник и передатчик располагаются рядом, а для приема и передачи применяется одна и та же направленная антенна. Излученный передатчиком в направлении какой-либо цели сигнал, состоящий из ряда импульсов, частично отражается от цели и принимается приемником. Зная направление излучения антенны и время прохождения сигнала до цели и обратно, можно определить место положения цели. Однако если между целью и передатчиком появится ионизированное облако, то радиосигнал будет ослабляться в облаке. Это ослабление сигнала в поисковых радиолокаторах приведет к уменьшению радиуса обнаружения цели, а в радиолокаторах слежения или наведения — к потере захвата цели. Ослабление радиосигнала выражается в децибеллах (дб). Один децибелл соответствует уменьшению в силе сигнала примерно 0,8 от первоначального значения; 2 дб — около $(0,8)^2$, т. е. 0,64; 3 дб — $(0,8)^3$, т. е. 0,51; 10 дб — 0,1; 20 дб — 0,01; 30 дб — 0,001 от первоначальной величины и т. д.

Для радиолокационных систем уменьшение мощности сигнала на 12 дб эквивалентно уменьшению эффек-

тивной дальности в 2 раза. Помимо ослабления радиоволн в ионизированной области будет также искривление пути (рефракция) радиолокационного луча из-за изменения плотности электронов. Величина отклонения луча прямо пропорциональна изменению плотности электронов и обратно пропорциональна квадрату частоты сигнала. При некоторых больших углах падения радиолуча на ионизированное облако может быть полное отражение радиолокационного сигнала. В этом случае все объекты, находящиеся за ионизированным облаком, не будут обнаружены.

Так выглядит действие высотного ядерного взрыва на радиосвязь и радиолокацию. Высотные ядерные взрывы могут быть опасны также для космонавтов, находящихся в космических кораблях на орбитах. Космонавты могут получить смертельную дозу радиации от потока гамма-лучей и нейтронов во время взрыва на расстоянии нескольких сотен километров от его центра. Большую дозу радиации они получат также при пересечении кораблем радиационного пояса. При встрече космического корабля с быстрыми электронами радиационного пояса они тормозятся корпусом корабля. Из-за торможения электронов возникает рентгеновское излучение, которое свободно проникает через корпус корабля и наносит поражение космонавту.

Уровень радиации внутри космического корабля в этом случае можно вычислить по следующей формуле:

$$P_к = 8 \cdot Z \cdot E_e (E_e - 1) \cdot n_e, \; р/ч,$$

где Z — атомный номер материала корпуса корабля;
E_e — энергия электрона (в атомных единицах массы);
n_e — плотность электронов (эл/см^3).

Допустим, при взрыве мегатонного заряда магнитным полем Земли захватилось $2 \cdot 10^{26}$ электронов, которые рассеются в космическом пространстве в объеме, равном объему Земли — 10^{27} см^3. В этом случае $n_e =$ $= 0{,}2$ эл/см^3.

Если $Z = 13$ (алюминий) и $E_e = 3$, то уровень радиации внутри космического корабля будет превышать 100 р/ч.

Как видим, ядерный взрыв в космическом пространстве может вызвать опасность лучевого поражения из-за выделения большого количества электронов.

Следует также отметить, что высотные ядерные взрывы большой мощности могут привести и к ряду других тяжелых последствий. Условия жизни на Земле определяются рядом процессов, происходящих в верхних слоях атмосферы. Жизнь приспособилась к тому естественному, что существует тысячелетия. Нарушение равновесия в этих слоях в результате ядерных взрывов неизбежно повлечет за собой длительные и трудноподдающиеся учету новые явления на Земле. Например, это может привести к изменению погоды, которое может иметь отрицательные последствия на жизнь на Земле. Сейчас еще трудно сказать, в какой форме эти изменения могут проявиться, для этого необходимы длительные наблюдения.

Однако одно ясно, что ядерные взрывы в космосе также могут нанести большой вред человечеству, как и все другие ядерные взрывы. 5 августа 1963 года в Москве представителями правительств СССР, США и Великобритании был подписан договор о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, космическом пространстве и под водой. К этому договору присоединились более 100 государств.

Мы рассказали о поражающих факторах ракетно-ядерного оружия, о ядерных взрывах в космосе и их последствиях. В следующей главе мы поговорим о противоатомной защите войск.

VIII. ПРОТИВОАТОМНАЯ ЗАЩИТА ВОЙСК

1. ОСНОВЫ ПРОТИВОАТОМНОЙ ЗАЩИТЫ. Противоатомная защита войск — это комплекс мер для срыва атомного нападения противника, защиты войск и сохранения их боеспособности в условиях применения ракетно-ядерного оружия.

Противоатомная защита включает: вскрытие атомной подготовки противника и срыв атомного нападения; оповещение войск об опасности атомного нападения; рассредоточение и маскировку войск; инженерное оборудование позиций, районов расположения подразделений и использование защитных свойств местности;

ведение непрерывной радиационной разведки, соблюдение мер защиты от поражения радиоактивными веществами и, наконец, ликвидацию последствий атомного нападения.

Наиболее эффективны из них — вскрытие подготовки и срыв атомного нападения противника. Цель их — своевременно разведать наличие и группировку средств атомного нападения противника (самолетов-носителей, ракет, атомной артиллерии) и уничтожить их.

Чтобы своевременно принять меры по отражению ракетно-ядерного удара и защите от его поражающего действия, войска оповещают об опасности атомного нападения. Это делают при непосредственной опасности атомного нападения путем подачи команд и установленных звуковых и зрительных сигналов.

Для наибольшего эффекта противник будет, как правило, применять ядерные боеприпасы внезапно. Это возможно, по данным иностранных журналистов, при малом числе носителей ядерного оружия, а также использовании ракеты дальнего действия.

Время действия поражающих факторов ядерного взрыва несравненно больше, чем у обычных боеприпасов. Известно, что общее поражение незащищенного человека определяется суммарным воздействием взрыва за все время действия его поражающих факторов. Это значит, что, увидев вспышку атомного взрыва, можно еще успеть защититься от него, если действовать быстро.

Атомное нападение противника не может служить основанием для прекращения боя. Услышав или увидев сигнал атомной тревоги, приводите в положение «наготове» индивидуальные средства противохимической защиты и продолжайте выполнять боевую задачу. Будьте внимательны, соблюдайте спокойствие, выдержку и организованность; командир укажет наиболее целесообразный способ действия.

Если в момент подачи сигналов бой не ведется, примите меры для защиты себя и своего оружия от поражения ядерным взрывом. Орудия, танки, самоходно-артиллерийские установки, автомобили поставьте в укрытия и быстро зайдите в подготовленный блиндаж или убежище (рис. 55). Входя последним в блиндаж (убежище), закройте за собой дверь или прикройте вход щитом; в убежище перекройте дымоход и воздуховод.

Если подготовленных укрытий в момент подачи сигнала атомной тревоги поблизости нет, используйте для укрытия любую складку местности или местный предмет, как показано на рис. 55. Нельзя оставлять вне укрытий свое оружие, приборы, радиостанцию. Захватите их с собой в убежище. Возгораемые детали техники,

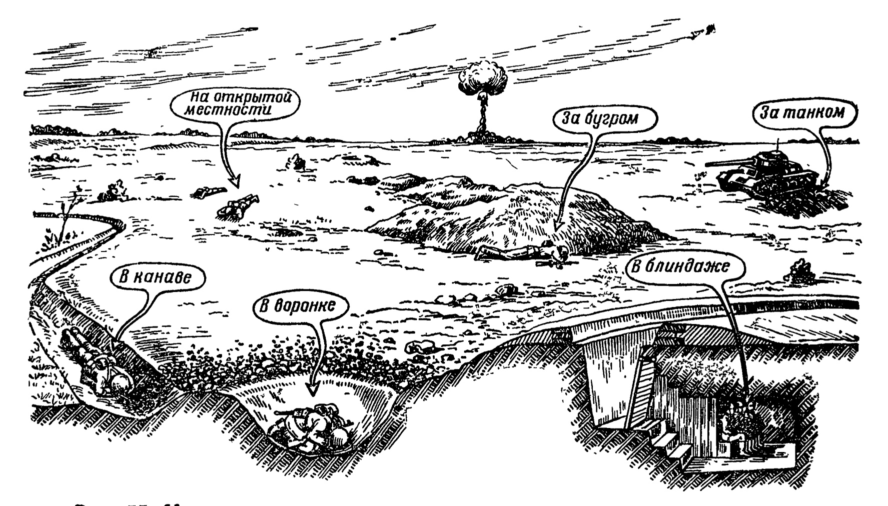


Рис. 55. Увидев вспышку ядерного взрыва, нужно немедленно занять ближайшее укрытие

оставленные вне укрытий, для защиты от светового излучения накройте брезентами или чехлами. По сигналу атомной тревоги движение не прекращается. Водители закрывают кабину (люк, жалюзи) и сохраняют свое место в колонне.

Иногда спрашивают, можно ли, увидев вспышку ядерного взрыва, успеть защититься от него? Да, можно. Но для этого следует знать боевые свойства ядерного оружия и в первую очередь его поражающие факторы.

Напомним, что основной фактор поражающего действия ядерного взрыва — ударная волна. Ударная волна, хотя и распространяется со сверхзвуковой скоростью, все же на расстояние 1, 2 и 3 км она придет соответственно через 2—5—8 сек. Время ее воздействия на объекты, находящиеся на этом удалении, около 1 сек. Световое излучение распространяется с очень большой ско-

ростью. Поэтому все незащищенные объекты подвергаются воздействию светового излучения сразу же после взрыва 2—3 сек. Гамма-лучи — основная составляющая проникающей радиации — также действуют на различные объекты сразу после взрыва, но уже примерно 10 сек. Зная эти свойства поражающих факторов, можно лучше защитить людей, находящихся в момент взрыва вне убежищ.

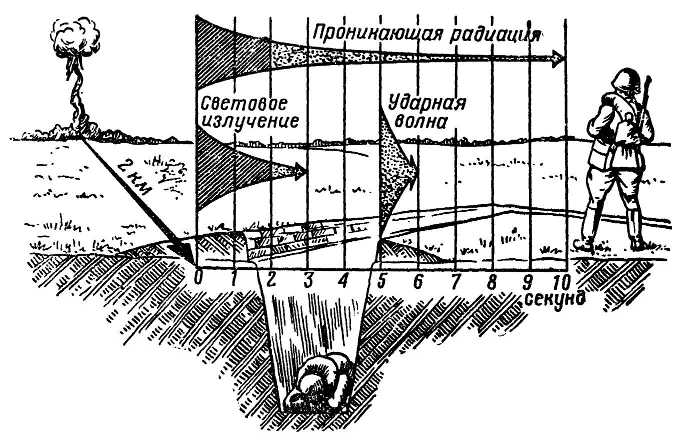


Рис. 56. График, характеризующий воздействие поражающих факторов воздушного ядерного взрыва на человека

Приведем пример. Человек в момент воздушного взрыва бомбы среднего калибра находится в точке О, в 2 км от места взрыва (рис. 56). Как же воздействуют на этого человека поражающие факторы ядерного взрыва? По горизонтальной оси будем откладывать время t (в сек.) с момента взрыва. Гамма-лучи и световое излучение распространяются в воздухе со скоростью около 300 тыс. км/сек. Вот почему незащищенный человек, находящийся в 2 км от места взрыва, сразу будет подвергаться воздействию светового излучения 3 сек. и гамма-лучей 10 сек. За 3 сек. незащищенный человек воспримет всю энергию падающего на него светового излучения, а за 10 сек. — всю суммарную дозу облучения.

Что же касается основного поражающего фактора — ударной волны, то она придет на это расстояние (2 км) через 5 сек. с момента взрыва. Это очень важное об-

стоятельство. Если вы увидели вспышку ядерного взрыва, быстро (в течение 1—2 сек.) займите укрытие (щель, траншею, воронку от взрыва снарядов или бомб). В этом случае доза гамма-лучей, энергия светового излучения и нагрузка от ударной волны, воспринятая человеком, будут значительно меньше. На рис. 56 заштрихованная площадь характеризует это воздействие ядерного взрыва. Если же рядом нет укрытия, то лучше лечь лицом вниз, спрятав кисти рук под себя.

Как скрыть расположение подразделений, затруднить противнику вести воздушную и наземную разведку и уменьшить потери в случае атомного нападения? Для этого проводят, например, рассредоточение и маскировку войск. Для маскировки умело используют местность, ночное время и плохую погоду, применяют табельные и подручные маскировочные средства и дымы.

По мнению иностранных военных специалистов, для маскировки могут применяться сплошные невозгораемые покрытия (маски). Чтобы повысить сопротивляемость табельных масок действию ударной волны, их усиливают контурными и внутренними тяжами, стойками. Чтобы увеличить стойкость масок от воздействия светового излучения, можно применять металлические сетки с вплетенными в них металлическими стружками, атмосфероустойчивую бумагу или ткань, обработанную огнезащитным составом. Маскировочные покрытия из подручных материалов (маты из камыша, хвороста, соломы и т. п.) пропитывают или обмазывают глиняным раствором.

Для того чтобы резко ослабить или исключить вовсе действие ядерного взрыва на личный состав, вооружение, имущество, технику, производят инженерное оборудование позиций, районов расположения подразделений, используют защитные свойства местности. Инженерное противоатомное оборудование местности заключается в укреплении и приспособлении местности для боя.

Радиационная разведка служит для своевременного обнаружения радиоактивных веществ, определения уровней радиации, обозначения на местности зараженных участков, отыскания обходов и предупреждения войск об опасности радиоактивного заражения.

Радиационная разведка ведется непрерывно во всех частях и подразделениях в любом виде боя. При этом выполнение боевой задачи — первая обязанность воина. Что делают, чтобы восстановить боевую готовность войск после атомного нападения? Ликвидация последствий атомного нападения включает проведение спасательных работ, приведение в порядок техники, тушение пожаров, восстановление разрушенных или поврежденных оборонительных сооружений, линий связи, проведение санитарной обработки людей и ветеринарной обработки животных, а также дезактивацию обмундирования, снаряжения, оружия, техники и продуктов питания.

2. КОЛЛЕКТИВНЫЕ И ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ. В условиях возможного применения ядерного оружия особо важны коллективные и индивидуальные средства защиты.

К коллективным средствам относят перекрытые траншеи, ходы сообщения, окопы, блиндажи, щели, специальные убежища, различные подземные выработки и тоннели.

Основа инженерного оборудования местности — траншеи и ходы сообщения. Их создают на исходном положении для наступления, в обороне, при закреплении в ходе боя важных рубежей. Траншеи и ходы сообщения необходимы для маневра силами и средствами ведения огня. Они защищают от пуль, осколков, от поражения ударной волной, проникающей радиацией и световым излучением.

Чтобы повысить защитные свойства траншей и ходов сообщения, глубину их доводят до 1,5—1,8 м, а сверху устраивают покрытия. Покрытия делают из жердей, накатника, бревен, их укладывают вплотную друг к другу поперек траншеи или щели прямо на грунт и засыпают сверху слоем земли толщиной до 50 см. В слабых грунтах стенки траншей укрепляют одеждой крутостей из досок, горбылей, жердей, хвороста или камыша. В траншеях устраивают брустверы и тыльные траверсы. Начертание траншей и ходов сообщения в плане должно быть не прямолинейным, а зигзагообразным, но без острых углов.

При ядерном взрыве возможно возгорание материалов инженерных сооружений. Поэтому одежду крутостей траншей и ходов сообщения, а также других укры-

тий летом обмазывают грунтом или глиной, а зимой — известью. Через каждые 20—30 м в одежде крутостей делают противопожарные разрывы шириной до 2 м.

В открытых участках траншей устраивают ячейки для наблюдателей, площадки для пулеметов, ниши для боеприпасов, продовольствия, воды.

Около огневых позиций пулеметчиков зачастую устраивают подбрустверные ниши или подбрустверные блиндажи. В слабых грунтах стенки ниш крепят жердями, досками, горбылями. Вход в нишу прикрывают щитом из жердей.

Убежища — наиболее надежные укрытия для личного состава. Они могут быть легкого и тяжелого типа и сооружаются из дерева и железобетона. В отдельных случаях применяют для устройства убежищ волнистую (гофрированную) сталь.

Тяжелые убежища защищают личный состав от поражения ядерным оружием даже в районе эпицентра воздушного взрыва. Защитные свойства их велики, потому что они обладают прочной конструкцией, способной выдержать большие нагрузки. От проникающей радиации и светового излучения, как и от артиллерийских снарядов и бомб, защищают прочные перекрытия и значительный по толщине слой земли.

Для создания убежищ широко используют средства механизации и заранее подготовленные элементы и конструкции. В убежищах фильтро-вентиляционные устройства позволяют людям находиться без индивидуальных средств защиты. Воздухозаборные отверстия оборудуются специальными противовзрывными клапанами. Это исключает затекание ударной волны внутрь убежища. Выхлопные, всасывающие и другие отверстия оборудуют и герметическими заслонками, их можно перекрывать вручную.

У убежищ два выхода: основной — с тамбуром и защитной дверью и защитно-герметическими перегородками и запасный шахтный лаз. Герметизация входа не допускает попадания радиоактивных веществ внутрь убежища.

Коллективные средства противоатомной защиты резко уменьшают радиус поражения ядерным оружием. Чем прочнее сооружение, тем надежнее предохраняет оно от ядерного взрыва. Простейшие инженерные

сооружения уменьшают радиус поражения в полтора-два раза, более прочные — в три раза и более.

На корабле надстройки, артиллерийские башни, броневые щиты защищают от взрыва. Если вблизи нет укрытия, складок местности, ложитесь на землю (палубу) лицом вниз. Лежа так, можно избежать поражения

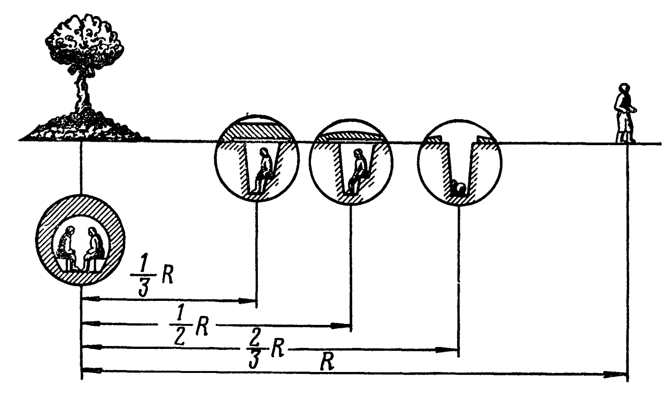


Рис. 57. Безопасные расстояния при воздушном ядерном взрыве

ударной волной или значительно ослабить его, предохранить лицо от ожогов. Кисти рук спрячьте под себя, глаза закройте, чтобы предохранить от возможной временной потери зрения. В танке при вспышке ядерного взрыва закройте люки и жалюзи; в кабине автомобиля опуститесь ниже ветрового стекла, чтобы избежать поражения осколками стекла и световым излучением; находясь в кузове, ложитесь на его дно, а если лечь нельзя, согнитесь; в боевой рубке корабля, увидев вспышку взрыва, немедленно нагнитесь, чтобы избежать ожогов от светового излучения.

Радиусы поражения ядерного взрыва можно значительно уменьшить, если расположить личный состав в укрытиях, как показано на рис. 57. И чем прочнее сооружение, тем лучше оно защищает от взрыва. Если принять, что безопасное расстояние при воздушном взрыве для незащищенного человека составляет R, то люди в открытых траншеях полного профиля не будут поражены уже на удалении $\frac{2}{3}$ R. Траншеи, перекрытые

бревнами и засыпанные пятидесятисантиметровым слоем земли, уменьшают радиус поражения в два раза, а блиндажи — в три. Люди в подземных прочных сооружениях на глубине более десяти метров не поражаются, даже если это сооружение в эпицентре воздушного ядерного взрыва. Такие укрытия — достаточная защита от всех видов поражающего действия ядерного взрыва.

Укрытия для боевой техники, огневых средств и имущества могут быть открытого или закрытого типа. Для огневых средств — пулеметных, гранатометных, минометных, орудийных, танковых — обычно устраивают сооружения открытого типа.

Окопы для пулеметов или орудий отрывают с узким, широким и круговым сектором обстрела. Для минометов окопы еще более углубляют.

Для танков и самоходно-артиллерийских установок при расположении их на позициях оборудуют окопы с площадкой для ведения огня и блиндажи для экипажей.

В выжидательных районах и районах сосредоточения для танков устраиваются укрытия с блиндажами для экипажей, а для автомобилей и тракторов — укрытия котлованного типа с аппарелями для въезда и блиндажами для водителей. Различное техническое имущество (в упакованном виде) укрывают в котлованных укрытиях.

Боеприпасы размещают в лощинах, оврагах или специальных укрытиях. Горюче-смазочные материалы хранят в укрытиях котлованного типа. Емкости с горючим зарывают в землю, продовольствие, имущество лучше хранить в щелях.

Индивидуальные средства защиты подразделяются на табельные и подручные. Противогаз, защитный костюм, защитный комбинезон, защитная накидка, защитные чулки и перчатки — это табельные индивидуальные средства защиты. На рис. 58 показаны индивидуальные средства защиты солдата и матроса.

Противогазы подразделяют на изолирующие и фильтрующие. В изолирующих противогазах кислород в специальном баллоне и по мере надобности подается непосредственно в дыхательные органы. Фильтрующий противогаз очищает зараженный воздух и полностью предохраняет от попадания отравляющих и радиоактив-



Рис. 58, *а* — использование общевойскового защитного комплекта:

а — в виде накидки; *б* — надетым в рукава; *в* — в виде комбинезона

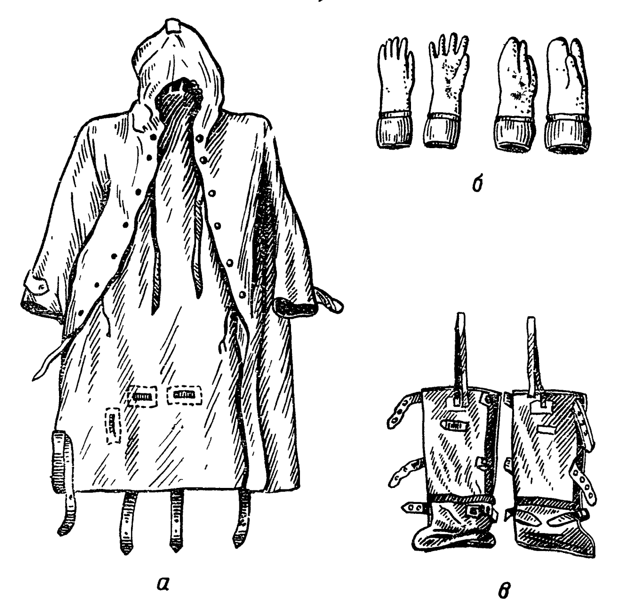


Рис. 58, *б* — составные части общевойскового защитного комплекта:

а — защитный плащ; *б* — защитные перчатки; *в* — защитные чулки

ных веществ внутрь организма и на кожные покровы лица и головы.

Защитная накидка (или плащ-палатка), накидка-подстил, защитные чулки и перчатки, защитные комбинезоны, защитный костюм и защитный фартук предохраняют от попадания радиоактивных веществ на обмундирование, обувь, снаряжение, а также на открытые части тела.

При отсутствии табельных средств применяют подручные. Например, носовой платок, полотенце, вату или марлю, слегка смоченные водой из фляги или незараженного водоема, используют для предохранения органов дыхания от попадания радиоактивных веществ внутрь организма. Защитные чулки заменяют мешковиной, рогожей, ветошью. При залегании на местности подстилают маты из незараженных радиоактивными веществами веток, соломы, камыша.

После преодоления зараженного участка противогаз и плащ-палатку снимают только по приказанию командира. Снимают их в строго определенном порядке. Встав лицом против ветра и держась за внутреннюю сторону накидки, сбрасывают ее с себя. После этого освобождаются от чулок, а затем в противогазе тщательно стряхивают накидку, чулки и обмундирование. В последнюю очередь снимают противогаз и перчатки. Использованные подручные средства направляют на дезактивационный пункт или, если они больше не нужны, закапывают в землю.

Табельные средства противохимической защиты после их применения подвергают дозиметрическому контролю и дезактивации. Особое внимание уделяют дезактивации и дозиметрическому контролю противогаза, так как со временем в его фильтрующем слое могут скопиться радиоактивные вещества — источник вредных излучений.

3. РАДИАЦИОННАЯ РАЗВЕДКА И ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ. Ведение радиационной разведки. Одна из характерных особенностей поражающего действия радиоактивных веществ — невозможность обнаружения их излучений без дозиметрических приборов. Радиоактивные излучения, воздействуя на наши органы чувств, не вызывают каких-либо ощущений. Сами же радиоактивные вещества, испускающие эти излучения,

также не могут быть обнаружены, так как они, во-первых, не обладают какими-либо специфическими свойствами (цвет, запах, вкус) и, во-вторых, мало количество радиоактивных веществ; даже при сильном заражении — доли грамма на одном квадратном метре.

Эта особенность поражающего действия радиоактивных веществ чревата тяжелыми последствиями, если их своевременно не обнаружить. Поэтому радиационная разведка и дозиметрический контроль облучения и заражения — одни из основных мер противоатомной защиты всех родов войск. Своевременное обнаружение зараженных участков и дозиметрический контроль облучения и заражения практически устраняют потери личного состава, действующего на зараженной местности.

Радиационная разведка ведется непрерывно, днем и ночью. Ведь личный состав может подвергнуться радиоактивному облучению неожиданно и длительное время действовать на зараженной местности. На радиационную разведку возлагается:

1) обнаружение радиоактивно зараженных участков местности и своевременное предупреждение соответствующих командиров и начальников о наличии заражения;

2) определение степени радиоактивного заражения участков и обозначение их границ путем установления знаков ограждения;

3) отыскание направлений преодоления зараженного участка.

Как оценить степень заражения участка? Ввиду наибольшей опасности поражения личного состава внешним облучением (гамма-излучением) принято оценивать величину уровня радиации гамма-излучения в рентген/час. Дозиметрические приборы для измерения уровня радиации в рентген/час получили название рентгенметров. Кроме рентгенметров, радиационная разведка обнаруживает радиоактивное заражение также простейшим дозиметрическим прибором — индикатором радиоактивности.

На рис. 59 показаны табельные знаки ограждения. Обычно знаки ограждения устанавливают на границе участка с заданным уровнем радиации.

При измерении уровней радиации помните, что величина уровня радиации зависит от времени, прошед-

шего после взрыва, и высоты измерения. На оградительных знаках всегда указывают время и день измерения, а само измерение уровней радиации для оценки степени заражения местности производят на высоте 0,7—1 м. Уровень радиации на высоте 0,7—1 м примерно средний между уровнем на поверхности земли и

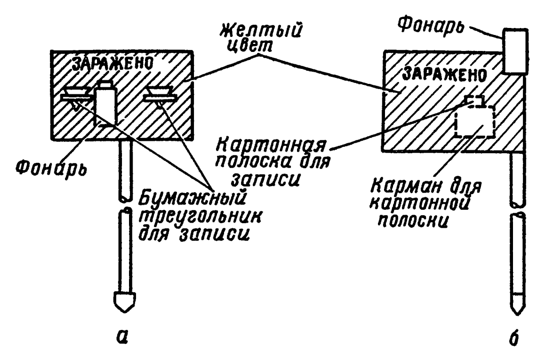


Рис. 59. Табельные знаки ограждения зараженных участков:
а — носимый знак; *б* — возимый знак

уровнем на высоте роста человека. Это позволяет с достаточной точностью судить о воздействии излучения на организм в целом.

Местные экранирующие предметы также оказывают заметное влияние на величину уровня радиации. В окопе уровень радиации меньше, чем на открытой местности. Стенки окопа заметно ослабляют излучение радиоактивных веществ, лежащих на открытой поверхности. Местные предметы: глыбы земли, камни, строения — также ослабляют уровень радиации. Все это учитывается при измерении уровней радиации.

Радиационная разведка ведется разведывательными дозорами.

Разведывательный дозор высылается для обследования района действия войск или отдельных направлений. Дозоры действуют, как правило, на бронетранспортере или автомобиле. В условиях высоких уровней радиации или труднопроходимой местности радиационная разведка может производиться на танках. Для разведки в траншеях, ходах сообщения и в других оборони-

тельных сооружениях используют пешие разведывательные дозоры. Разведку обширных районов и дорог большой протяженности ведут с самолетов (вертолетов).

Для радиационного наблюдения дозор использует рентгенметры. Во время движения один из разведчиков непрерывно наблюдает за показанием рентгенметра. На границе участка с заданным уровнем радиации дозор устанавливает знак ограждения. Для определения уровней радиации делают короткую остановку. Уровни радиации измеряют, не выходя из машины.

При разведке зараженных участков, занятых войсками, дозор в первую очередь измеряет уровни радиации в местах расположения войск.

Воздушную радиационную разведку местности проводят дозиметрическими приборами с самолета или вертолета путем облета участков местности по заданным маршрутам.

Следует учитывать значительную проникающую способность гамма-излучения в воздухе. Дозиметрические приборы на самолете обнаруживают участки местности, зараженные гамма-активными веществами, на высотах, заметно превышающих минимальные безопасные высоты полета самолета (вертолета).

Максимальные высоты обнаружения зараженного участка ограничены теми высотами полета, где величина уровня радиации гамма-излучения соизмерима с интенсивностью космического излучения. Известно, что уровни гамма-излучения довольно быстро уменьшаются с высотой, а интенсивность космического излучения, наоборот, заметно возрастает по мере подъема. Поэтому даже при использовании весьма чувствительных приборов максимально возможные высоты обнаружения очень сильных очагов заражения не превышают 1000 м.

Почему такие данные радиационной обстановки, как величина уровня радиации у поверхности земли, границы зараженных участков, могут быть получены воздушной радиационной разведкой весьма ориентировочно? Авиационный дозиметрический прибор измеряет уровень гамма-излучения не у поверхности земли, а на высоте полета самолета (вертолета). Для суждения о величине уровня радиации у поверхности земли по уровню радиации, измеренному на высоте, необходимо иметь данные о характере ослабления уровня радиации с высотой,

то есть знать зависимость коэффициента ослабления уровня радиации от высоты полета.

Однако величина коэффициента ослабления уровня радиации зависит не только от высоты полета, но и от размеров зараженного участка, его конфигурации, характера заражения (равномерное, неравномерное) и других факторов. Все эти данные, кроме высоты полета, в процессе ведения воздушной разведки неизвестны. Это может привести к большим ошибкам при определении коэффициента ослабления. Значительные ошибки в определении уровня радиации у поверхности земли могут быть в том случае, когда линейные размеры зараженности участка меньше высоты полета самолета. Поэтому для получения достоверных данных о «топографии» зараженной местности высота полета по возможности минимальная.

Недостатки воздушной радиационной разведки связаны с трудностями получения подробных данных о радиационной обстановке у поверхности земли. Но использование авиации позволяет произвести разведку на обширной площади за короткие промежутки времени.

Это весьма положительное качество воздушной радиационной разведки позволяет разумным образом спланировать и значительно быстрее провести наземную разведку, а также своевременно принять меры по защите войск.

В ряде случаев воздушная разведка практически единственное средство выяснения радиационной обстановки. Например, при разведке очагов очень сильного заражения (участки местности вблизи центров наземного и подземного атомных взрывов), разведке тыловых районов противника, которые оставляются им при наступлении наших войск, и т. д.

Дозиметрический контроль — одна из мер по защите личного состава от поражения радиоактивными веществами. Он подразделяется на контроль внешнего облучения и заражения радиоактивными веществами.

Дозиметрический контроль внешнего облучения проводят, чтобы не допустить облучения личного состава выше допустимых норм. Для этого измеряют дозы облучения, полученные личным составом при действии на радиоактивно зараженной местности, а также при дезактивации зараженной техники, оружия и имущества. Кон-

троль внешнего облучения в полевых условиях проводят по дозам гамма-излучения. Помните, что создание индивидуальных средств защиты (специальных накидок, костюмов и т. д.) от внешнего облучения гамма-лучами исключено. Ведь даже слой свинца толщиной 0,7 см ослабляет интенсивность гамма-излучения всего лишь в два раза. Поэтому соблюдение норм времени пребывания — основная мера, предупреждающая поражение людей, действующих на местности, зараженной радиоактивными веществами. Из-за небольшой проникающей способности бета-излучения возможность поражения людей от него значительно меньше, чем от гамма-излучения. Ведь бета-излучение практически полностью поглощается подошвами сапог, любыми металлическими экранами толщиной в несколько миллиметров. Поток бета-частиц на высоте ладоней рук стоящего человека ослабляется по крайней мере в десять раз.

Контроль облучения подразделяют на индивидуальный и групповой.

Индивидуальный контроль облучения проводят для определения доз, полученных каждым человеком за время его действия на зараженной местности. Дозиметрические приборы для такого контроля называют индивидуальными дозиметрами. Дозиметр измеряет суммарную дозу в рентгенах.

Групповой контроль проводят, когда личный состав подразделения действует примерно в одних и тех же условиях и получает примерно одну и ту же дозу облучения.

Для измерения доз при групповом контроле используют рентгенметры и индивидуальные дозиметры.

Рентгенметр устанавливают в точке с наибольшим уровнем радиации в районе расположения личного состава.

Величину дозы облучения при постоянном уровне радиации определяют по формуле

$$D = P \cdot t,$$

где P — уровень радиации гамма-излучения в рентген/час;

t — время пребывания людей на зараженном участке в часах.

Если уровень радиации переменный (например, при преодолении зараженного участка с различными уровнями радиации), то в формулу подставляют величину среднего уровня радиации.

Для группового контроля индивидуальные дозиметры выдаются двум-трем солдатам. По показаниям дозиметров определяют среднюю дозу облучения, полученную всем личным составом.

Дозиметрический контроль радиоактивного заражения проводят для защиты от попадания радиоактивных веществ внутрь организма или на открытые участки тела. При внутреннем облучении вещества, испускающие радиоактивные излучения, попадают в организм, когда заглатывают и вдыхают радиоактивно зараженную пыль, воду и т. д. Помните, что радиоактивные вещества на поверхности какого-либо предмета могут быть безопасны при внешнем облучении, но опасны при непосредственном соприкосновении человека с зараженной поверхностью. Ведь при этом создается возможность попадания радиоактивных веществ внутрь организма. Вот почему боевая техника и другие зараженные предметы при удалении их с радиоактивно зараженной местности опасны для человека, если не приняты меры предосторожности.

При дозиметрическом контроле заражения производят измерение степени загрязнения (заражения) радиоактивными веществами различных поверхностей и объемов. На радиоактивно зараженной местности практически наиболее опасны при попадании внутрь организма бета-активные вещества. Поэтому степень заражения оценивают по бета-активным веществам.

Единица количества радиоактивного вещества, как известно, кюри. Единицами степени заражения поверхностей и объемов служат кюри/см^2, кюри/литр, кюри/см^3 и т. д.

Однако кюри весьма большая единица количества радиоактивного вещества. Поэтому, чтобы определить степень загрязнения одежды, поверхности тела человека, поверхности боевой техники, воды, воздуха и т. д., измеряют количество радиоактивного вещества количеством распадов атомов за минуту (1 распад/мин $= 4{,}5 \cdot 10^{-13}$ кюри). При таком выборе единиц степень заражения поверхности измеряют количеством распадов

атомов/см^{2}мин, жидкостей — распадов атомов/см^{3}мин и т. д.

Приборы, определяющие степень заражения (загрязнения), получили название радиометров.

Дозиметрический контроль заражения проводят, как правило, после выхода личного состава из зараженной зоны, а также при полной санитарной обработке и дезактивации.

Контроль заражения проводят химики-разведчики. Они определяют степень заражения радиоактивными веществами всего личного состава, вооружения, техники и имущества. Если измерения показывают, что степень заражения выше допустимых норм, то люди подвергаются санитарной обработке, а оружие, техника, имущество и продовольствие — дезактивации.

4. ПОЛЕВЫЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ. Радиоактивные вещества можно обнаружить только при помощи специальных приборов, называемых дозиметрическими. Эти приборы позволяют обнаружить радиоактивное заражение, определить границы зараженных участков, измерить уровни радиации, установить степень заражения (тела человека, обмундирования, вооружения и различной боевой техники, воды, продовольствия), а также дозы облучения личного состава, полученные за время пребывания на зараженной местности.

Дозиметрические приборы подразделяются на 4 группы: индикаторы радиоактивности, рентгенметры, радиометры и дозиметры (см. таблицу). Рассмотрим кратко назначение и характеристику этих основных групп приборов.

Индикаторы радиоактивности. С помощью индикатора радиоактивности можно обнаружить радиоактивное заражение и ориентировочно оценить уровни радиации гамма-излучения. На рис. 60, *а* показан внешний вид индикатора радиоактивности ДП-63. Этот прибор оценивает мощности дозы гамма-излучения в диапазоне от 0,1 до 50 р/час (на двух поддиапазонах: 0,1—1,5 р/час и 1—50 р/час). Измеряемые величины отсчитываются по микроамперметру, шкала его градуируется в р/час. Основные части прибора: два газоразрядных счетчика (по одному на каждый поддиапазон), преобразователь напряжений, источник питания, интегрирующий контур с микроамперметром.

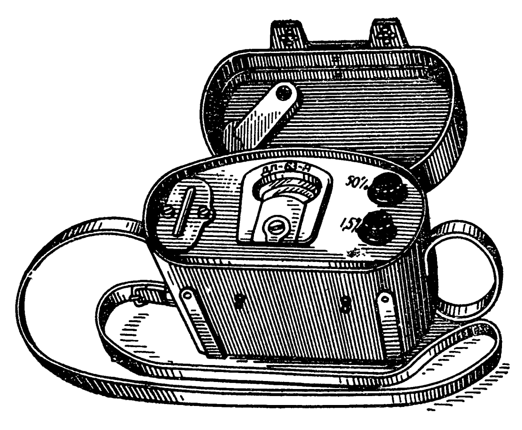


Рис. 60 — дозиметрические приборы:

а — индикатор радиоактивности ДП-63

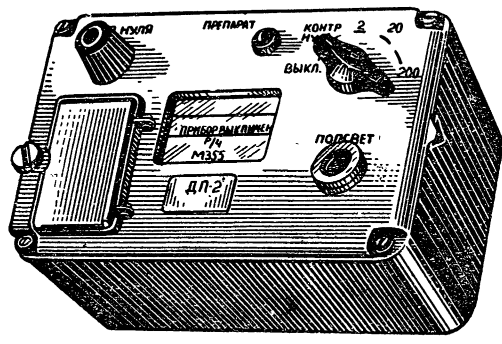


Рис. 60, *б* — рентгенметр ДП-2

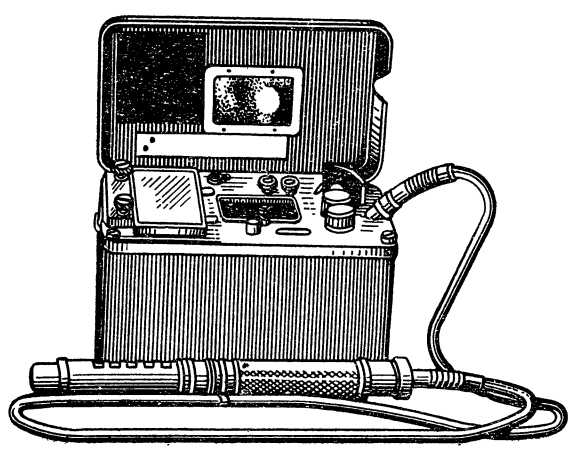


Рис. 60, *в* — бета-гамма радиометр ДП-12

Для доступа в прибор бета-излучений в дне корпуса индикатора имеется прямоугольное отверстие. Оно заклеено фольгой и закрыто изнутри заслонкой, открываемой при нажатии кнопки на передней стенке корпуса прибора.

Прибор весит 1,2 кг, носится на ремне через плечо. Измерение уровней радиации гамма-излучения производится на высоте 0,7—1 м от поверхности земли. Бета-излучение определяется на расстоянии 20—30 см от зараженной поверхности.

Рентгенметры. Эта группа приборов представлена рентгенметром ДП-2 (рис. 60, б). Измеряют мощности доз гамма-излучений в диапазоне 0—200 р/час (на трех поддиапазонах: 0—2 р/час, 0—20 р/час, 0—200 р/час).

Основные части прибора: ионизационная камера, входные сопротивления, усилитель постоянного тока, микроамперметр и блок питания.

При измерении уровней гамма-излучений на местности прибор с помощью ремня крепится на груди оператора на высоте 70—100 см от поверхности земли.

Таблица 12

Штатные дозиметрические приборы

Шифр прибора	Возможность индикации излучения	Диапазон измерений по γ-излучению	Основное назначение
I. Индикаторы			
ДП-63	Есть	0,1—50 р/час	Обнаружение радиоактивного заражения местности
II. Рентгенметры			
ДП-2	Нет	0,05—200 р/час	Измерение уровней γ-радиации на местности
III. Радиометры			
ДП-12	Есть	1—125 мр/час	Контроль объектов с небольшой допустимой зараженностью
IV. Дозиметры			
ДКП-50А	Нет	2—50 р	Контроль доз внешнего γ-облучения

Если измеряют уровни гамма-излучений, находясь в автомобиле, бронетранспортере или танке, показания рентгенметра следует умножать на коэффициент ослабления гамма-излучений (для автомобиля он равен в среднем 2, для бронетранспортера — 4, для танка — 10).

Радиометры. Радиометры измеряют степень радиоактивного заражения тела человека, обмундирования, вооружения, боевой техники, воды, продовольствия и т. д. При радиационной разведке с вертолета радиометрами измеряют небольшие уровни гамма-излучений. Бета-гамма радиометр ДП-12 (см. рис. 60, в) измеряет малые мощности доз гамма-излучения в пределах 1—125 мр/час, а также индикацию бета-излучения при плотности заражения 10^3—$5 \cdot 10^6$ расп/мин · см^2.

Бета-гамма радиометр ДП-12 состоит из пульта с источниками питания, зонда с гибким кабелем для соединения с пультом, телефонов для слухового контроля и штанги для зонда.

Радиометр весит (рабочий комплект) 4,5 кг. Измерение зараженности объектов при помощи радиометра производится на незараженной местности.

Дозиметры. Дозиметры предназначены для индивидуального контроля дозы внешнего гамма-излучения. Комплект индивидуальных дозиметров включает: зарядно-измерительное устройство; дозиметры ДС-50 для измерения доз гамма-облучения в диапазонах 0—50 р; дозиметры ДКП-50А для измерения доз гамма-облучения в диапазоне 2—50 р.

Отсчет дозы, зарегистрированной дозиметром ДС-50, производит зарядно-измерительное устройство после возвращения из зоны заражения. Дозиметр ДКП-50А прямопоказывающий, т. е. доза отсчитывается непосредственно по шкале, вмонтированной в его корпус.

5. САНИТАРНАЯ ОБРАБОТКА И ДЕЗАКТИВАЦИЯ. Удаление радиоактивных веществ с кожных покровов и со слизистых оболочек глаз, носа и рта у людей называется санитарной обработкой, а удаление радиоактивных веществ у животных — ветеринарной обработкой. Дезактивация — это удаление радиоактивных веществ с оружия, техники, имущества, оборонительных сооружений, местности, а также из воды, продовольствия и фуража.

Санитарную обработку и дезактивацию обычно про-

водят, если зараженность превышает допустимые нормы. Если установить действительную степень заражения по каким-либо причинам не удается, то санитарную обработку и дезактивацию проводят профилактически. Конечно, санитарную обработку и дезактивацию проводят не в ущерб выполнению боевой задачи.

В зависимости от боевой обстановки санитарную обработку и дезактивацию выполняют частично или в полном объеме и подразделяют на частичную и полную.

Частичную санитарную обработку и частичную дезактивацию проводят при первой возможности в подразделениях.

Полную санитарную обработку и полную дезактивацию проводят только в незараженном районе по решению старшего начальника на заранее подготовленных пунктах специальной обработки (ПСО).

В состав пункта специальной обработки входят: контрольно-распределительный пост; площадка обработки оружия, техники и транспорта; площадка дезактивации обмундирования и снаряжения; площадка санитарной обработки; площадка ветеринарной обработки при наличии животных.

Подразделения, которые должны пройти полную санитарную обработку и дезактивацию, сосредоточиваются в районах ожидания. Здесь они могут провести частичную обработку и дезактивацию, если это не было сделано ранее.

Из района ожидания подразделения направляют на контрольно-распределительный пост. Здесь они проходят контроль радиоактивного заражения. Если степень заражения превышает допустимые нормы, то личный состав вместе с оружием и техникой идет на пункт специальной обработки — на грязную половину площадки обработки оружия, техники и транспорта. Здесь личный состав надевает индивидуальные средства противохимической защиты и дезактивирует свое оружие и технику, после чего обработанное оружие и техника направляются на чистую половину той же площадки, а личный состав на площадку дезактивации обмундирования и снаряжения. На грязной половине этой площадки воины оставляют свое обмундирование и снаряжение для дезактивации и идут на площадку санитарной обработки. В некоторых случаях воины после дезактивации оружия и техники

сразу направляются в раздевальное отделение площадки санитарной обработки. Здесь они снимают индивидуальные средства противохимической защиты и оставляют для дезактивации верхнее обмундирование, снаряжение, белье и обувь. Все это обрабатывается специально выделенными командами. После дезактивации обмундирование и снаряжение переносятся в одевальное отделение.

Воины после санитарной обработки направляются на чистую половину площадки обработки вооружения, техники и транспорта. Они производят там чистку и смазку дезактивированного оружия и техники и направляются в район сбора.

Пункт специальной обработки развертывается в месте, укрытом от воздушного наблюдения противника, и по возможности вблизи источника незараженной воды. Место для дезактивации и санитарной обработки должно быть ровным, с небольшим уклоном для стока воды. Водоотводные канавы располагают так, чтобы загрязненная вода стекала в сторону от источника и собиралась в водосборный или водопоглощающий колодец.

Велик объем работ при полной санитарной обработке и дезактивации. Много на пунктах специальной обработки различных машин и приспособлений, в большинстве своем они пригодны также при дегазации и дезинфекции. Автомобильная разливочная станция (АРС) дезактивирует боевые и транспортные машины, участки дорог (с твердым покрытием), мосты и сооружения. Цистерна станции имеет емкость 2650 л. Жидкость подается на обработку механическим или ручным насосом. Автодегазационная машина (АДМ) дезактивирует боевую технику и транспорт. В этих же целях используют и ранцевый дегазационный прибор (РДП).

Артиллерийский и пулеметно-минометный дегазационные комплекты предназначены для частичной дезактивации орудий, минометов, пулеметов. Для санитарной обработки людей и дезинфекции обмундирования служит дезинфекционно-душевая установка.

Санитарная обработка. Частичную санитарную обработку личного состава организуют в подразделениях при первой возможности без отвлечения воинов от выполнения боевой задачи. Ее проводят в зараженном районе или после выхода из него.

При частичной санитарной обработке вне зараженного района снимите защитную накидку и стряхните пыль с обмундирования, снимите защитные чулки.

Далее снимите противогаз и защитные перчатки, вымойте руки и промойте два-три раза незараженной водой открытые участки тела, особое внимание обратите на тщательность мытья и удаление грязи из-под ногтей; после этого промойте чистой водой нос и прополоскайте рот.

При недостатке воды открытые участки тела протирайте влажным полотенцем или тампоном, используйте носовой платок или какую-либо чистую влажную ткань. Если воды нет, то тампоны смачивайте жидкостью из индивидуального противохимического пакета. В крайнем случае, когда под руками нет ни воды, ни индивидуального пакета, открытые участки тела протрите сухими тампонами.

При частичной санитарной обработке в зараженном районе не снимайте индивидуальные средства противохимической защиты. Радиоактивные вещества удаляйте только с незащищенных участков тела. Пользоваться для этого водой из какого-либо источника можно лишь после дозиметрического обследования его с разрешения командира. Если личный состав оказался в зараженном районе без средств защиты, то обмойте или протрите открытые участки тела, затем наденьте средства защиты и приступите к дезактивации оружия и позиции. После дезактивации оружия, позиции и техники еще раз обмойте или оботрите влажными тампонами открытые части тела, чтобы удалить радиоактивные вещества, которые могли попасть на кожу во время дезактивации.

Полную санитарную обработку проводят только в незараженном районе на специальной площадке. В населенных пунктах для этого используют бани, душевые, санпропускники. В полевых условиях летом санитарную обработку проводят на открытом воздухе, в палатках или под навесами, в незараженном водоеме с проточной водой; в холодное время года оборудуют теплые землянки или отепленные палатки.

При полной санитарной обработке тщательно обмойте все тело. Дозиметрический контроль производите до и после обмывания.

Если вы обмоете загрязненные места теплой водой с мылом и мочалкой, то обеспечите полное удаление радиоактивных веществ. Это один из наиболее эффективных, в то же время легко доступных способов санитарной обработки.

Проверка различных средств и способов обработки рук показала, что при первом мытье рук щеткой с мылом удаляется наибольшее количество радиоактивных веществ, при повторном — значительно меньше. Троекратное мытье рук мягкой щеткой с мылом и теплой водой практически полностью удаляет радиоактивные вещества. Можно применять для санитарной обработки рук растворители, слабые растворы соляной кислоты и растворы марганцовокислого калия. Это дает примерно такие же результаты, что и мытье щеткой и мылом.

Дезактивация техники и вооружения. Частичную дезактивацию техники и оружия, так же как и частичную санитарную обработку, производят непосредственно в зараженном районе или после выхода из него.

Для частичной дезактивации оружия и техники приготовьте несколько тампонов из незараженной пакли или ветоши и смочите их водой (а при отсутствии воды — керосином, бензином или другими растворителями), тщательно протрите личное оружие и те части автомашины, орудия, танка, самолета, с которыми приходится постоянно соприкасаться (сиденье, рукоятки и пр.).

Если позволяет боевая обстановка, то радиоактивные вещества удалите со всех поверхностей зараженного стрелкового оружия (карабина, автомата, пулемета), орудия, миномета и др. Это значительно снизит общую зараженность вооружения и техники и уменьшит возможность поражения при работе с нею.

Частичную дезактивацию оружия, орудий и минометов проводите непосредственно на огневых позициях. При дезактивации особое внимание обратите на оптические приборы (стереотруба, прицел, дальномер и др.), так как при пользовании зараженными приборами могут быть поражены органы зрения. При отсутствии воды, бензина, керосина оружие и технику протрите три-четыре раза сухой чистой ветошью или паклей.

Танки и самоходно-артиллерийские установки дезактивируют экипажи. При частичной дезактивации прежде всего протрите те места на башне и корпусе танка

(САУ), к которым приходится прикасаться. Затем в танке дезактивируйте внутренние поверхности боевого отделения, отделения управления, а также вооружение, оборудование, приборы и рычаги управления.

На самолете дезактивируют в первую очередь фонари кабин, подходы к кабинам и к некоторым люкам, внутренние поверхности кабин и их оборудование (если они при проверке оказались зараженными).

Полную дезактивацию оружия и техники проводят только в незараженном районе на специальных площадках под руководством и контролем лиц с соответствующей подготовкой.

Оружие и боевую технику дезактивируют: смыванием радиоактивных веществ струей воды; смыванием радиоактивных веществ водой при одновременном протирании поверхности щетками, ветошью, паклей; протиранием щетками, кистями, тампонами, смоченными водой; промыванием деталей в бензине или керосине. В зимнее время для дезактивации используют незамерзающие водные растворы или бензин и керосин, используют и дегазационные растворы.

Проводят дезактивацию различными дегазационными машинами и приборами, а также бензо-, водо- и маслозаправщиками, мотопомпами, пожарными машинами и т. д. Перед полной дезактивацией с танков выгружают боеприпасы и инструмент и тщательно закрывают крышки люка башни и люка механика-водителя, открывают аварийный люк и пробки лючков в днище танка, а жалюзи и прорези прикрывают брезентом. Так же поступают при полной дезактивации самолета: закрывают фонари кабин, бомболюки, различные лючки и т. п. Дезактивируют сверху вниз, чтобы обеспечить хороший сток загрязненной воды.

Наиболее выгоден, экономит труд и время способ обмывки техники струей воды из брандспойта. В некоторых же случаях более эффективно обмывание водой с одновременным протиранием поверхностей щетками от дегазационных машин. Этот способ более трудоемок, но полностью удаляет радиоактивные вещества при сравнительно небольшом расходе воды.

Внутренние поверхности кабин самолетов, танков, автомашин дезактивируют пылесосами.

А каков основной способ ликвидации радиоактивного заражения на кораблях флота? Это — обмывание палуб, надстроек, башен и других сооружений струей воды под напором. С этой целью используют пожарные насосы и специальные трубопроводы с распылителями. Мощными насосами забортная вода подается в трубопровод. Здесь под давлением через большое количество мелких отверстий она выбрасывается вверх и в стороны. Образуется своеобразный ливень воды, смывающий радиоактивные вещества с наружных поверхностей корабля.

После обработки все дезактивируемые объекты подвергните тщательному дозиметрическому контролю. Если будет обнаружено, что в некоторых местах радиоактивные вещества превышают допустимую норму, то повторите дезактивацию с проверкой ее дозиметрическими приборами.

Дезактивация обмундирования и снаряжения. Частичная дезактивация обмундирования, снаряжения и индивидуальных средств противохимической защиты проводится личным составом в боевых порядках и, как правило, после частичной дезактивации оружия и техники. Вне зараженного района частичную дезактивацию обмундирования и снаряжения проводят, обметая или вытряхивая радиоактивную пыль.

Если есть время и при благоприятной обстановке, снаряжение и обмундирование снимают, тщательно вытряхивают, выколачивают пыль, обтирают и обметают. Зимой обмундирование, снаряжение и обувь дезактивируют незараженным снегом.

Если поверх обмундирования и снаряжения надета защитная накидка, то отряхивают и обметают только те места, которые не были ею прикрыты.

Полную дезактивацию обмундирования, снаряжения и средств противохимической защиты проводят на пунктах специальной обработки. При дезактивации используют такие способы удаления радиоактивного загрязнения: вытряхивание и выколачивание, протирание тампонами или щетками, обмывание и стирка.

После дезактивации обмундирование подвергают дозиметрическому контролю и лишь после этого выдают личному составу. Если при проверке вновь обнаружат высокую степень заражения, обмундирование заменяют.

Дезактивация продовольствия и воды. Все виды продовольствия и фуража, зараженные выше допустимых норм, дезактивируют или изымают. Носимый запас продовольствия, зараженный радиоактивными веществами выше допустимых норм, уничтожают. Консервы и другие продукты в герметической упаковке после дезактивации (упаковки) годны к употреблению.

Дезактивацию воды производят лишь в том случае, когда нельзя обеспечить войска или население водой из незараженных источников, то есть нет возможности отрыть новый шахтный колодец, пробурить скважину или организовать подвоз воды из незараженного района.

После атомного нападения все пищевые продукты, фураж и водные источники в зоне поражения подвергают дозиметрическому контролю. Его цель установить, что и в какой степени заражено радиоактивными веществами. Выбор способа дезактивации зависит от характера продуктов (хлеб, мясо, сахар, консервы в банках и пр.), от вида и качества упаковки, от степени заражения и от наличия тех или иных технических средств для дезактивации. При большом разнообразии пищевых продуктов трудно рекомендовать какой-либо один способ их дезактивации.

Продукты питания и фураж в мешках (крупа, соль, зерно и пр.) пересыпают в чистые мешки или другую чистую тару, соблюдая меры предосторожности.

Рыбу, твердые жиры, солонину в бочках и ящиках дезактивируют, обмывая тару водой и протирая ее ветошью или щетками.

Дезактивированные продукты питания и фураж хранят отдельно и используют в последнюю очередь. При выдаче их со склада в накладных делают специальные пометки. Такие продукты перед закладкой в котел промывают более тщательно.

Дезактивацию зараженной воды можно осуществить различными способами. Основная часть радиоактивных веществ от атомного взрыва в воде не растворяется и оседает на дно водоема. Процесс осаждения происходит очень медленно и полной очистки, как правило, не получается. Поэтому основной способ дезактивации воды — фильтрование и перегонка. Дезактивация воды способом перегонки (выпаривания) в подвижной опреснительной установке происходит так же, как и опреснение горько-

соленой воды. Фильтрование воды может производиться через табельные фильтры или фильтры из подручных средств (песок, гравий, уголь); фильтрации воды может предшествовать коагулирование и отстаивание. Коагулирование воды — это способ очистки ее искусственным образованием осадка от добавления к воде специальных химических веществ (коагулянтов). Коагулирование удаляет из воды очень мелкие частицы, находящиеся во взвешенном состоянии.

При фильтрации может быть использован способ ионного обмена, он обеспечивает более полное удаление из воды радиоактивных веществ (нерастворимых и растворимых). В этом случае фильтр, помимо обычных фильтрующих веществ (гравий и песок), содержит специальные вещества — иониты. Иониты — твердые, в виде зерен, не растворимые в воде вещества. Они обладают способностью поглощать из растворов ионы.

При дезактивации шахтных колодцев и родников (зараженных радиоактивными веществами) очищают дно колодца и несколько раз выкачивают из него воду, а у родника снимают слой грунта толщиной 5—10 см. Перед дезактивацией и после нее определяют степень заражения воды и стенок колодца.

Дезактивация позиций и местности. Траншеи, ходы сообщения и окопы с одеждой крутостей дезактивируют. С бермы срезают 3—4 см грунта, после чего одетые крутости обметают влажными вениками, жгутами из травы или соломы, щетками или ветошью. Срезанный грунт собирают лопатами в ведра, ящики, мешки и относят в место, указанное командиром. Затем дезактивируют дно траншеи, срезая слой грунта толщиной 3 см. Срезать грунт с бруствера можно в том случае, если позволяют условия маскировки.

Неодетые крутости траншей, окопов очищают лопатой, срезая слой грунта толщиной до 3 см.

Помещения и закрытые сооружения дезактивируют, обтирая потолок, пол и стены влажными тряпками или обметая влажными вениками, щетками.

В чем заключается дезактивация зараженной местности? В удалении радиоактивных веществ с поверхности или в покрытии этой поверхности слоем незараженного материала. Оба способа очень громоздкие и трудоемкие. Поэтому дезактивируют лишь отдельные участки местно-

сти, главным образом проходы и места расположения боевой техники и личного состава. Для дезактивации широко используют различные дорожные и подметально-уборочные машины.

Чтобы определить объем работ по дезактивации местности, надо располагать возможно более точными данными радиационной разведки о размерах участка заражения и об уровнях радиации на нем, особенно в районе расположения войск или на намечаемых направлениях движения.

Организуя дезактивационные работы в полной мере (насколько позволяет обстановка), используйте так называемую самодезактивацию, то есть уменьшение степени заражения от самопроизвольного распада радиоактивных веществ.

Основной способ защиты от радиоактивных веществ (при действиях на зараженной местности) — ограничение времени пребывания на зараженном участке и предотвращение попадания радиоактивных веществ на кожу и внутрь организма.

Современная техника позволяет личному составу преодолевать зараженные участки с достаточной скоростью, используя индивидуальные средства защиты. Поэтому в необходимых случаях боевые действия на радиоактивно зараженной местности вполне возможны без проведения дезактивационных работ.

6. ДЕЙСТВИЯ НА РАДИОАКТИВНО ЗАРАЖЕННОЙ МЕСТНОСТИ. В условиях применения противником атомного оружия от всего личного состава вооруженных сил больше, чем когда-либо, требуются отличная выучка, выдержка, стойкость, железная воинская дисциплина и непреклонная воля к победе над врагом. Чтобы успешно выполнить боевую задачу, каждый воин должен твердо знать свои обязанности, умело действовать при применении атомного оружия, проявляя в бою разумную инициативу и смекалку.

Успешному продвижению наступающих подразделений в ходе всего боя в значительной степени способствует умелое преодоление участков местности, зараженных радиоактивными веществами. Они могут встретиться в районе взрыва и по следу радиоактивного облака.

Зараженные участки местности быстро преодолевают в индивидуальных средствах противохимической защиты.

При движении в тихую безветренную погоду после дождя нет необходимости находиться в противогазах, пыли и радиоактивных веществ в воздухе будет очень мало. В этом случае наденьте плащ-палатку или защитную накидку. Преодолевая участки местности, зараженные радиоактивными веществами, индивидуальные средства противохимической защиты используйте, сообразуясь с боевой обстановкой и с условиями погоды. Кроме того, учитывайте характер почвы и растительного покрова, поскольку они влияют на степень пылеобразования.

Преодолевая зараженные участки в сухую погоду, надевайте противогазы и защитные перчатки. В сырую погоду можно действовать без противогаза, радиоактивной пыли в воздухе практически не будет. Однако используйте защитные чулки, перчатки и различные подстилы, которые предохраняют обмундирование и обувь от заражения радиоактивными веществами при залегании и перебежках.

Указания об использовании тех или иных средств защиты, как правило, будут даваться старшим начальником. Если подразделение действует на зараженной местности в отрыве от других, то решение на использование индивидуальных стредств противохимической защиты командир подразделения принимает самостоятельно.

При действиях в условиях применения ракетно-ядерного оружия предохраняйте свое оружие и технику, носимый запас продовольствия и воды, а также личные вещи от заражения радиоактивными веществами.

Изучение воинами боевых свойств ракетно-ядерного оружия и защита от поражения радиоактивными веществами — вопрос сам по себе не простой, хотя, на первый взгляд, и не представляет каких-либо серьезных трудностей. Использование обширной популярной литературы по ядерной физике и конкретных пособий и руководств, плакатов, кинофильмов, макетов позволяет доходчиво разъяснять людям боевые свойства радиоактивных веществ. Однако опыт показывает, что кое-где нередко допускаются досадные ошибки, связанные прежде всего с некоторой завышенной оценкой поражающих свойств радиоактивных веществ.

Следует отметить, что преувеличения при характеристике поражающих свойств ядерного оружия так же вредны, как и его недооценка. Излишнее «устрашение»

поражающими факторами сеет семена неверия в возможность защиты. Это всегда следует учитывать в обучении воинов защите от поражающих факторов ракетно-ядерного оружия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В книге мы ознакомились с физическими основами и устройством ракетно-ядерного оружия и его поражающими факторами, средствами и способами противоатомной защиты.

Прошло более 25 лет с тех пор, как была взорвана первая атомная бомба. За этот период империалисты США интенсивно развивали ракетно-ядерное оружие и накапливали ядерные боеприпасы различных видов и назначения. По сообщениям печати, в США разработана многозарядная головная часть ракеты с тремя отдельными неуправляемыми ядерными зарядами для поражения одной цели. В определенной точке траектории головная часть раскрывается, ядерные заряды рассеиваются и падают одновременно на цель. Указывается, что такие трехзарядные головные части установлены на ракетах атомных подводных лодок «Поларис А-3». Дальнейшее развитие многозарядных головных частей для перспективных межконтинентальных баллистических ракет (МБР) — создание головных частей с боеголовками, имеющими систему индивидуального наведения на цель. Такая головная часть может поразить несколько отдельных целей. Многозарядные головные части с индивидуальным наведением зарядов на цель создаются для новых стратегических ракет США «Минитмэн-III» и «Посейдон», идущей на смену ракете «Поларис». По мнению американских специалистов, применение многозарядных головных частей облегчает прорыв противоракетной обороны, увеличивает эффективность действия ракет у цели или позволяет одной ракетой поражать несколько целей.

Американские империалисты и их союзники по агрессивным блокам в планах подготовки новой мировой войны предусматривают широкое использование ракетно-ядерных средств.

Твердо и последовательно проводя ленинский миролюбивый курс, наша партия не может не считаться с растущей агрессивностью империалистических держав

во главе с США. Заботясь о безопасности нашего народа и народов других стран социализма, КПСС принимает все меры для укрепления обороноспособности Советского Союза. Советские люди делают все необходимое для того, чтобы наши Вооруженные Силы и их ракетные войска располагали новейшей военной техникой и были в состоянии высокой боевой готовности.

Высокие требования предъявляет к личному составу оснащение ракетных войск самым современным оружием. И это понятно. Какой бы мощности ни была военная техника, исход вооруженной борьбы все же решают люди. Как бы ни была высока техническая вооруженность армии, главной решающей силой на войне остается человек, в совершенстве овладевший техникой. Это особенно важно в век ракетно-ядерного оружия, когда судьбу войны будут решать люди, мастерски владеющие оружием и боевой техникой, закаленные морально и физически, беспредельно преданные своей Родине, партии и народу.

Применение оружия массового поражения в ракетно-ядерной войне, несомненно, окажет огромное влияние на сознание и психику личного состава. Вот почему, изыскивая способы защиты воинов от этого оружия, уделяется самое пристальное внимание их психологической подготовке.

Боевые действия в условиях применения оружия массового поражения потребуют от личного состава максимального напряжения не только физических, но и моральных сил и возможностей. Такие качества, как мужество, самообладание, выдержка, хладнокровие, быстрота реакции, неодолимое стремление к победе, будут во многом способствовать разгрому противника.

Страх перед оружием массового поражения чаще всего объясняется недостаточным знанием его боевых свойств и поражающих факторов. Значит, лучший способ его преодоления — познание того, что недостаточно известно. Воин должен представлять полную картину опасности, которая его ожидает при применении оружия массового поражения. Только в этом случае он может поверить в средства и способы защиты, призванные сохранить его жизнь и боеспособность, и умело их применить.

Все это учитывается при обучении войск.

Воины Советских Вооруженных Сил неустанно повышают свою боевую выучку, в совершенстве овладевают всеми средствами вооруженной борьбы, внимательно изучают боевую технику и оружие империалистических государств и готовы немедленно выступить против тех, кто посмеет напасть на нашу Родину.

Советские Вооруженные Силы и их ракетные войска сумеют дать сокрушительный отпор любому агрессору.

ОГЛАВЛЕНИЕ

К ЧИТАТЕЛЯМ!

Просим посылать свои отзывы об этой книге по адресу: Москва, К-160, Военное издательство.

А. Иванов, И. Науменко, М. Павлов
Ракетно-ядерное оружие и его поражающее действие
Редактор *Кадер Я. М.*
Художественный редактор *Клюева В. Н.*
Обложка художника *Лаушкина И. В.*
Технический редактор *Коновалова Е. К.*
Корректор *Крошкина Т. П.*

Сдано в набор 29.11.69 г. Г-72102 Подписано к печати 23.12.70 г.
Формат бумаги 84×108$^{1}/_{32}$. 7 п. л. = 11,76 усл. п. л. + 1 вклейка — $^{1}/_{4}$ п. л. = 0,42 усл. п. л. 12,037 уч.-изд. л.
Бумага типографская № 2 Тираж 60 000 *Цена 50 коп.*
Изд. № 1/8623. **Зак.** 311

Ордена Трудового Красного Знамени
Военное издательство Министерства обороны СССР. Москва, К-160
Набрано в 1-й типографии Воениздата
Москва, К-6, проезд Скворцова-Степанова, дом 3
Отпечатано с матриц во 2-й типографии Воениздата
Ленинград, Д-65, Дворцовая пл., д. 10